

# AISLAMIENTO TÉRMICO MÓVIL

Peter G. Magnus

Filtros para la reducción de  
pérdidas de calor por aberturas  
en la envolvente en climas fríos







UNIVERSITAT POLITÈCNICA  
DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

ETSAB



Escola Tècnica Superior  
d'Arquitectura de Barcelona

Universitat Politècnica de Catalunya  
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona

*Máster Universitario en Tecnología en la Arquitectura*  
Línea de Construcción Arquitectónica – Innovación Tecnológica

# Aislamiento Térmico Móvil

Filtros para la reducción de pérdidas de calor por  
aberturas en la envolvente en climas fríos

Trabajo Final de Máster

Autor: Peter Geelmuyden Magnus  
Tutor responsable: Jordi Pagès Serra

Barcelona, 4 de septiembre de 2015

## Resumen

*Este trabajo nace de la necesidad actual de desarrollar nuevas estrategias para reducir pérdidas de calor por las aberturas en la envolvente de los edificios en climas fríos. Como posible remedio se investiga el Aislamiento Térmico Móvil con el objetivo de comprobar con datos fehacientes y comprobables que su aplicación influye positivamente en la reducción de las pérdidas de calor en los edificios.*

Un edificio promedio en Noruega, un país en la zona climática “Fría”, puede perder entre el 25 y el 30 % del calor total a través de las aberturas en la pared. Aunque se ha mejorado considerablemente la capacidad aislante de los sistemas de acristalamiento durante las últimas décadas, estos componentes son todavía el punto débil de la envolvente, perdiendo hasta 20 veces más calor que una pared opaca de la misma superficie. No mejora el hecho de que la proporción promedio de superficie acristalada en los edificios es mucho más alta en la arquitectura de hoy que al principio del siglo anterior.

Un Aislamiento Térmico Móvil o ATM es un componente móvil con la capacidad de alterar temporalmente el rendimiento térmico de una ventana o puerta. El componente puede ser en forma de un porticón, persiana o cortina, pero con el criterio de tener características aislantes y ser relativamente efectivo en reducir las pérdidas de calor.

Usando software de simulación energética este estudio pretende re evaluar y analizar el potencial de estos sistemas tradicionales como estrategia contra las pérdidas de calor de los edificios, planteando preguntas como: ¿Cuál será el impacto de los sistemas de Aislamiento Térmico Móvil en el balance energético de un edificio?

¿Podría competir un acristalamiento doble sencillo más un Aislamiento Térmico Móvil contra un acristalamiento triple de alto rendimiento? ¿En que zonas climáticas tiene el ATM más potencial?

A parte del estado de arte y la evaluación térmica de los sistemas, el trabajo incluye una guía de diseño conteniendo consejos y consideraciones prácticas de diseño basados en la información y resultados presentes a lo largo del trabajo.



## **Abstract**

*This study is the result of the present-day necessity to develop new strategies for reducing heat loss through openings in the building envelope in cold climates. As a possible remedy, The Movable Thermal Insulation is investigated, with the objective of proving with reliable and verifiable data that its application has a positive influence on the heat loss in buildings.*

An average building in Norway, a country in the climatic zone “Cold”, is disposed to lose 25 to 30% of its heat through openings in the building envelope. Even though the insulating capacity of glazing and framing components has improved considerably during the last decades, these components still constitute the weakest spot in the building envelope- losing up to 20 times more heat than a opaque wall of the same area. It does not get better by the fact that the average proportion of glazed surface in buildings is considerably higher in today’s architecture than in the beginning of the last century.

A Movable Thermal Insulation or ATM is a movable component with the capacity to temporarily alter the thermal performance of a window or door. The component can be in the form of a shutter, shade or curtain, but with the criteria that it is of insulating character and is relatively effective in reducing heat loss.

Using energy assessment software, this study aims to re-evaluate and analyze the potential of these well-established systems as a possible strategy against heat loss in buildings, raising questions like: What is the impact of the Movable Thermal Insulation systems on the energy balance of a building? Can a double glazing plus a Movable Insulation compete against a modern, high performance triple glazing? In which climate zones does the ATM have more potential?

Apart from the “estado del arte” and the thermal evaluation, this study includes a practical design guide containing guidelines and considerations for the design of ATM systems, based on information and results present throughout the work.

TREBALL FI DE MÀSTER TFM  
**LÍNIA DE CONSTRUCCIÓ I NOVES TECNOLOGIES**  
**MÀSTER OFICIAL UNIVERSITARI "TECNOLOGIA A L'ARQUITECTURA"**  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

---



AUTORITZACIO LECTURA I DEFENSA DE TFM

NOM ALUMNE:

Peter Geelmuyden Magnus

COORDENADES DE CONTACTE DEL ALUMNE  
(telèfon o e-mail)

peter.gm@hotmail.com

CURS

Master Oficial Universitario en Tecnología en la Arquitectura

DIRECTOR PROPOSAT:  
(un professor del Máster)

Jordi Pagès Serra

TÍTOL DEL TFM

Aislamiento Térmico Móvil

EL DIRECTOR D'AQUEST TFM CONSIDERA QUE, A LA DATA D'AVUI, AQUEST TFM JA ESTÀ PREPARAT PER A LA SEVA LECTURA I DEFENSA.

Jordi Pagès Serra

Barcelona, 01.09.2015

**Autorització per a la difusió de treballs acadèmics (PFG, PFM, Tesines, ...) a través del web del Servei de Biblioteques i Documentació de la Universitat Politècnica de Catalunya**

En Peter Geelmuyden Magnus, DNI/Passaport núm. Y3159048N, autor del treball acadèmic titulat "Aislamiento Térmico Móvil" autoritza al Servei de Biblioteques i Documentació de la Universitat Politècnica de Catalunya a:

1. Posar a disposició electrònica l'obra anteriorment esmentada mitjançant la seva incorporació a la pàgina web del Servei de Biblioteques i Documentació de la Universitat Politècnica de Catalunya o plataforma que la substitueixi.
2. Adaptar l'obra en la mesura tècnicament necessària per posar-la a disposició electrònica a través del web.
3. El sotasignat autoritza la difusió de l'obra:

**[marqueu l'opció desitjada]**

☒ mitjançant la llicència CC "**Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual**" [permet reproduir, distribuir, comunicar públicament i fer obres derivades (traduccions, etc.), sempre i quan s'esmenti l'autoria i no es facin usos comercials]

☐ mitjançant la llicència CC "**Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada**" [permet reproduir, distribuir, comunicar públicament però no fer obres derivades (traduccions, etc.), sempre i quan s'esmenti l'autoria i no es facin usos comercials]

☐ sense aplicació de cap llicència CC [les condicions d'ús del treball dipositat són únicament les permeses per la [Llei de propietat intel·lectual](#) (BOE núm. 97, de 22/4/1996)]

4. Només en cas que el treball acadèmic sigui objecte d'un **Acord de confidencialitat**, el sotasignat autoritza el seu dipòsit sota aquestes condicions:

**[marqueu l'opció desitjada]**

☐ difusió de les dades bibliogràfiques del treball [permet únicament la difusió de les dades bibliogràfiques del treball, no del text complet]

☐ difusió del text complet del treball a partir de la data \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2012 [durant el termini d'embarcament establert per l'Acord de confidencialitat únicament es permet la difusió de les dades bibliogràfiques del treball. Un cop vençut aquest termini, se n'autoritza també la difusió del text complet sota una llicència CC o sota cap llicència CC, segons s'hagi indicat al punt 3 d'aquesta autorització]

5. El sotasignat autoritza la difusió pública de les següents **dades de caràcter personal** al registre bibliogràfic del seu treball:

**[marqueu l'opció desitjada]**

☒ difusió del propi nom personal i de l'adreça de correu electrònic [peter.gm@hotmail.com](mailto:peter.gm@hotmail.com) [s'ofereix una adreça de contacte que permeti la futura comunicació entre l'autor i els investigadors, empresaris o altres possibles usuaris interessats en la seva obra]

☐ difusió del propi nom personal, sense cap adreça de correu electrònic [no s'ofereix cap adreça de contacte]

En cap cas aquesta autorització implica una cessió en exclusiva dels drets d'explotació de l'autor/a sobre l'obra ni impedeix l'explotació normal de l'obra a través de les formes habituals.

Aquesta autorització s'entén feta per a un període inicial de 5 anys, prorrogables de forma automàtica per períodes successius d'igual duració excepte revocació expressa de l'autorització per part de l'autor/a de l'obra.

L'autor/a declara que és el legítim propietari dels drets d'autor de l'obra que s'autoritza.

Si el document inclou obres de les quals no n'és el propietari dels drets d'explotació (fotografies, dibuixos, textos, etc.), l'autor/a declara que ha obtingut el permís sense restricció del titular corresponent per atorgar la present autorització.

L'autor:

 , Barcelona, 02 de Septiembre de 2012

# ÍNDICE

<b>01</b>	<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>11</b>
1.1	INTRODUCCIÓN	12
1.2	OBJETIVOS	16
1.3	METODOLOGÍA	17
1.4	GLOSARIO	18
<b>02</b>	<b>ESTADO DEL ARTE</b>	<b>21</b>
2.1	EL ATM EN LA LITERATURA ACADÉMICA	22
	Publicaciones	22
	La desaparición del ATM en la literatura académica	32
2.2	ATM HISTÓRICOS	35
2.3	CATEGORIZACIÓN DE LOS ATM CONTEMPORÁNEOS	40
2.4	CASOS DE ESTUDIO	45
	Resumen	56
2.5	PRODUCTOS COMERCIALES	58
	Resumen	67
	Aislamientos Translucidos (TIM)	69
<b>03</b>	<b>EL POTENCIAL DEL ATM</b>	<b>73</b>
3.1	INTRODUCCIÓN	74
3.2	EL POTENCIAL	77
3.3	LOS FACTORES PRINCIPALES QUE DIRIGEN EL IMPACTO DEL ATM	79
	Clima	79
	Valor U	81
	Superficie acristalada	81
3.4	TESIS	82
<b>04</b>	<b>PRESTACIONES TÉRMICAS DEL ATM</b>	<b>87</b>
4.1	VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON ISO 10077-1.2006	95
	Conclusiones	97
4.2	VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON BALANÇ 81.1	98
	Conclusiones	99
4.3	VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON WINDOW 7.3 Y THERM 7.3	100
	Conclusiones	102

<b>05</b>	<b>IMPACTO EN EL BALANCE ENERGÉTICO</b>	<b>105</b>
<b>5.1</b>	<b>LA DEFINICIÓN DE LA CÉLULA DE REFERENCIA</b>	<b>107</b>
	Parámetros fijos	108
	Parámetros variables	112
<b>5.2</b>	<b>CÁLCULOS PRINCIPALES</b>	<b>115</b>
	Cálculo Edificio E1	117
	Cálculo Edificio E2	123
	Cálculo Edificio E3	127
	Cálculo Edificio E3 - Distintas zonas climáticas	132
<b>5.3</b>	<b>CONCLUSIONES FINALES</b>	<b>137</b>
<b>5.4</b>	<b>CÁLCULOS CON ACRISTALAMIENTO COMBINADO</b>	<b>143</b>
	Cálculos	144
	Conclusiones finales	148
<b>06</b>	<b>GUÍA DE DISEÑO</b>	<b>151</b>
<b>6.1</b>	<b>CAPACIDAD AISLANTE</b>	<b>153</b>
<b>6.2</b>	<b>HERMETICIDAD</b>	<b>163</b>
<b>6.3</b>	<b>OPERATIVIDAD Y CONVENIENCIA</b>	<b>166</b>
<b>6.4</b>	<b>DURABILIDAD</b>	<b>168</b>
<b>6.5</b>	<b>EMPLAZAMIENTO RESPECTO A LA VENTANA (¿DENTRO O FUERA?)</b>	<b>170</b>
<b>6.6</b>	<b>ESTÉTICAS</b>	<b>171</b>
<b>6.7</b>	<b>ECONOMÍA</b>	<b>172</b>
<b>07</b>	<b>FUENTES</b>	<b>175</b>
<b>7.2</b>	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>176</b>
<b>7.3</b>	<b>IMAGENES Y GRÁFICOS USADOS</b>	<b>178</b>



# **01** PRESENTACIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Estamos en una época de alta sensibilización y concienciación con respecto a la arquitectura sostenible y el ahorro energético. Sin embargo, el ahorro energético es un campo relativamente nuevo y hay cuestiones en las que parece faltar cobertura en la literatura de la construcción. El aislamiento térmico móvil se considera una de ellas.

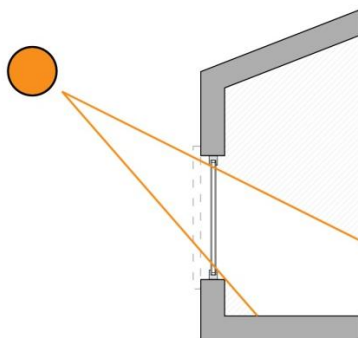
En países del sur, la primera preocupación respecto a aberturas en la envolvente es el exceso de radiación solar y sobrecalentamiento. En los países nórdicos, se tiene en cierto sentido el problema contrario: la preocupación no es el exceso de sol sino la falta de él, combinado con las temperaturas hostiles durante el invierno. La paradoja es que mientras los problemas por sobrecalentamiento y el uso de la protección solar tiene una bibliografía profunda, una posición central en el diseño arquitectónico y una gama de sistemas dinámicos, parece que hay una falta de desarrollo de contramedidas parecidas contra el frío en los países del hemisferio norte. Es justamente esta carencia que me ha inspirado en la selección del tema. El objetivo es profundizar en un tema de gran potencial en el campo del ahorro energético cuya literatura es muy limitada y estado de arte aparentemente se caracteriza por el bricolaje y soluciones olvidadas en la fase de prototipo.

Los acristalamientos aislantes de hoy operan con una resistencia térmica mucho mejor que los acristalamientos simples del principio del siglo XX. Pero al mismo tiempo, los edificios construidos hoy en día tienen como promedio mucha más superficie acristalada que los edificios construidos en aquella época. Paradójicamente, esto se ha traducido en que la proporción de las pérdidas de calor por las ventanas respecto a las pérdidas totales ha aumentado- paralelamente con el desarrollo técnico y optimización térmica de las mismas ventanas.

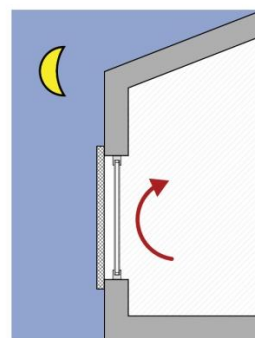
### ¿Qué es un aislamiento térmico móvil (ATM)?

Es un dispositivo o sistema móvil capaz de alterar temporalmente el rendimiento térmico de una ventana o puerta. El componente puede ser en forma de un porticón, persiana o cortina, pero con el criterio de incorporar características aislantes y ser relativamente efectivo en reducir las pérdidas de calor.

Invierno - Día



Invierno - Noche



*Fig. 1 El principio básico de un Aislamiento Térmico Móvil: maximizar entrada de luz y calor solar durante el día, minimizar las pérdidas de calor durante la noche. (Elaboración propia)*



Se considera también los sistemas que se basan únicamente en utilizar el aire atrapado entre si y el vidrio como aislante. Igualmente se consideran sistemas que usan juntas selladas para evitar pérdidas por convección tanto como sistemas que usan capas de carácter reflejante para reducir pérdidas por radiación. El dispositivo es móvil en el sentido de que utiliza sistemas mecánicos que le permiten cambiar su posición frente a la ventana según hora del día o estación.

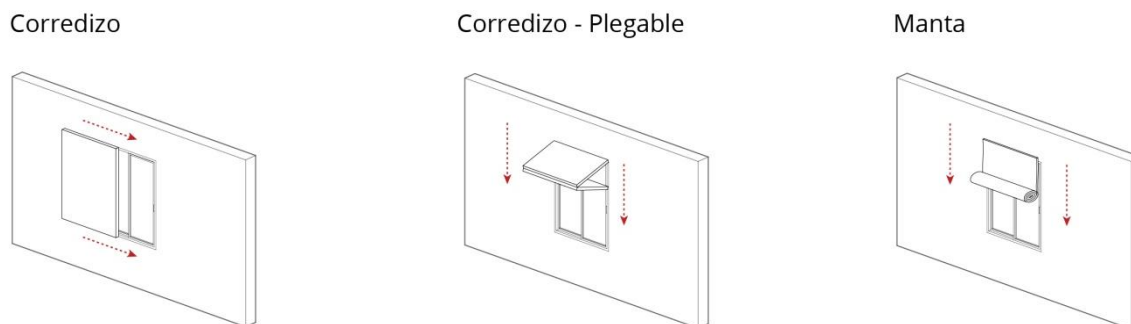


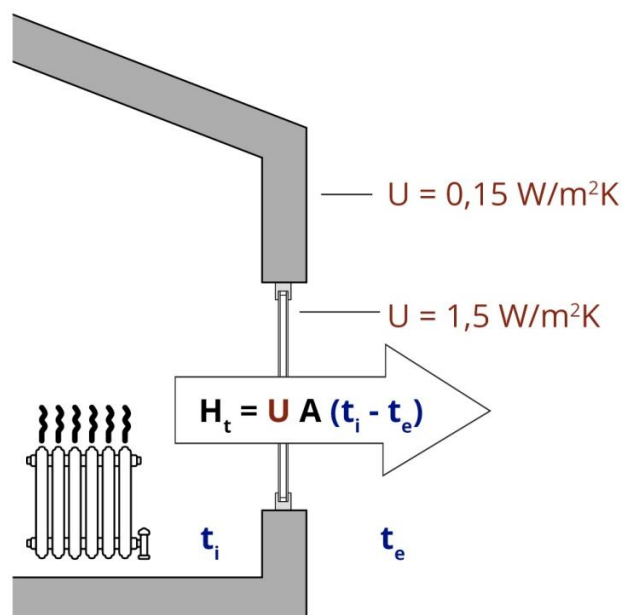
Fig. 2 Algunos sistemas de apertura (Elaboración propia)

### ¿Por qué las aberturas?

Aunque los dobles y triples acristalamientos permiten a las ventanas modernas tener un rendimiento energético mucho mejor que antes, los acristalamientos representan todavía el punto más crítico de la envolvente, representando un gran potencial en el campo de ahorro energético.

### ¿Por qué climas fríos?

En la física térmica, la pérdida de calor por conducción a través de los paramentos en la envolvente va en función de la diferencia entre la temperatura interior y exterior. En un espacio con una temperatura constante interior de 20 °C, se pierde considerablemente más calor si la temperatura exterior es de -5 °C que si fuera de 15 °C. Como consecuencia, las pérdidas de calor por las aberturas es una cuestión considerablemente más relevante en climas fríos.



$H_t$ : Transmisión de calor (Pérdidas)  
 $U$ : Valor  $U$  (transmitancia térmica) del paramento  
 $A$ : Superficie del paramento  
 $t_i - t_e$ : Diferencia entre temperatura exterior / interior

(Elaboración propia)

Intuitivamente, las dos maneras más lógicas de reducir las pérdidas de calor por ventanas es reducir la superficie acristalada o mejorar el rendimiento térmico del acristalamiento (reducir el valor U). La primera acción tiene el problema de que interferirá con la entrada de luz y calor solar y que podría comprometer el aspecto arquitectónico. El segundo punto, con la tecnología de acristalamientos disponible hoy en día, significa desafortunadamente también una reducción del factor g (factor solar del vidrio)- reduciendo las ganancias solares, que son útiles para la calefacción pasiva. Con el ATM y su naturaleza móvil es posible evitar estos efectos negativos. El ATM justificará el uso de grandes superficies acristaladas al mejorar considerablemente el rendimiento térmico del acristalamiento durante las horas de más pérdidas de calor, sin interferir con la entrada de luz y calor solar, colaborando de esta forma en la reducción de la demanda de calor del edificio.

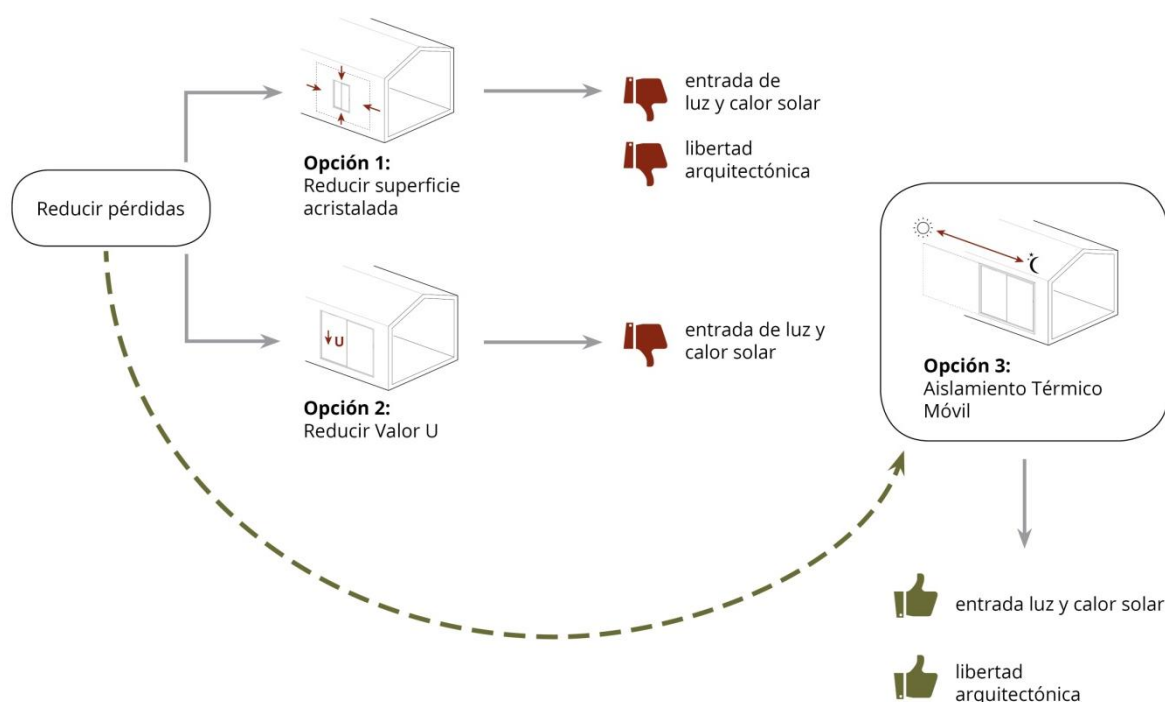


Fig. 3 El Aislamiento Térmico Móvil como alternativo a las estrategias más convencionales para reducir las pérdidas de calor por aberturas. (Elaboración propia)

Otro punto importante es que los aislamientos térmicos móviles no son tan diferentes que las protecciones solares. De hecho, su función es muy similar: uno sirve para impedir la entrada de calor solar, el otro para retener el calor. Como sistema, ambos son barreras móviles que cambian dinámicamente su posición según condiciones climáticas. En muchos casos, como por ejemplo el porticón opaco, un sistema principalmente de protección solar puede servir también como ATM añadiendo solo un aislante y prestando más atención a la hermeticidad de las juntas. Así, el tema del ATM se hace relevante no solo como un componente separado, sino también como consideración en el diseño de sistemas de protección solar y fachadas en general.

El trabajo está dividido en tres partes principales:

1. El estado del arte (capítulo 2)
2. La comprobación térmica del ATM (capítulo 3-6)
3. La guía de diseño (capítulo 7-10)

El primer es el estado del arte, en que se presenta tanto la posición del ATM en la literatura académica como su presencia en proyectos arquitectónicos y productos comerciales. En la segunda parte, la comprobación térmica, se trabaja con cálculos y simulaciones para comprobar tanto el rendimiento térmico de los sistemas ATM como su influencia directa sobre el balance energético en los edificios. La última parte es una guía de diseño para los sistemas ATM conteniendo consejos y consideraciones de diseño basados en la información y resultados presentes en los dos primeros capítulos.

A partir de este punto me referiré al aislamiento térmico móvil como ATM.

## 1.2 OBJETIVOS

Los objetivos principales del trabajo son:

### **Documentación / Catalogo**

- Catalogar y agrupar los aislamientos térmicos móviles usados en proyectos históricos y contemporáneos así como en forma de productos comerciales.
- Intentar analizar y catalogar los casos y productos según sus prestaciones térmicas y coste de inversión.

### **Demostrar importancia / Justificar**

- Justificar porque el ATM merece su propio capítulo en la literatura de la construcción sostenible y ahorro energético.

### **Prestaciones esperadas**

- Concretar las prestaciones térmicas esperadas de diferentes tipos de ATM con datos fehacientes y comprobables como:

Valor U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )

Resistencia térmica ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )

Factor g (%)

Demanda de energía para calefacción ( $\text{kWh/m}^2$  año)

- Comprobar cómo afecta al balance energético del edificio la combinación doble acristalamiento más aislamiento térmico móvil con bajo valor U y alto valor G contra comparado con un triple acristalamiento con bajo valor U y bajo valor G.

### **Guía de diseño**

- Presentar consideraciones importantes en el diseño de un sistema ATM.

## 1.3 METODOLOGÍA

### **Investigar y documentar**

Investigar, documentar y catalogar usando la información disponible en libros, revistas y la web.

### **Analizar estudios de caso**

Identificar características de sistemas existentes y evaluarlas según criterios establecidos.

### **Comprobar**

Simular y comprobar con software y cálculos para obtener datos concretos como el Valor U ( $\text{W/m}^2\text{K}$ ), Resistencia térmica ( $\text{m}^2\text{K/W}$ ), Valor G (%) y Demanda de energía para calefacción ( $\text{kWh/m}^2$  año).

Software: Designbuilder, WINDOW 7.0, THERM 7.0, Balanç 81.1

### **Analizar/ Concluir**

Basado en la información de la investigación y resultados obtenidos en los cálculos se intenta crear una guía de diseño del ATM, para intentar asistir a otros profesionales en el futuro.

## 1.4 GLOSARIO

Algunos de los términos más presentes en el trabajo:

**Balance Ganancias/Pérdidas** es la suma de neta de las pérdidas de calor y las ganancias solares. Hablando de balance ganancias/pérdidas en este trabajo se refiere a la transferencia de calor solamente a través de la ventana. Se mide en kWh/m<sup>2</sup> año.

**Demanda de calefacción** es la energía suministrado al edificio necesario para mantener la temperatura interior deseada. Se mide en kWh/m<sup>2</sup> año.

**Factor g** es el coeficiente más común en Europa para medir la transmitancia de energía solar de un vidrio, llamado Factor Solar en alguna literatura de ventanas, medida en escala 0-1 o en %, i.e. 53% = 0.53; donde 1.0 o 100% representa la máxima cantidad de energía solar pasando y 0.0 o 0% representa una ventana con no transmitancia de energía solar.

**Factor SHGC** (Solar Heat Gain Coefficient) se usa en los EE.UU y se refiere a la transmitancia de energía solar de una ventana o puerta como componente entero, considerando el vidrio, el material de la carpintería (madera, aluminio, etc.), bastidor (si presente), divisores (si presente) y pantallas (si presente). SHGC también puede referirse a la transmitancia de energía solar del vidrio solo (a veces llamado específicamente SHGC, centro de vidrio). En este caso es análogo al factor g.

**Valor R** es la resistencia térmica o de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica. En el Sistema Internacional se mide en unidades (m<sup>2</sup>K)/W.

**Valor U** es la transmitancia térmica (U, pero denominada también como Valor-U en algunos lugares) es la medida del calor que fluye por unidad de tiempo y superficie, transferido a través de un sistema constructivo, formado por una o más capas de material, de caras plano paralelas, cuando hay un gradiente térmico de 1°C (1 K) de temperatura entre los dos ambientes que éste separa. En el Sistema Internacional se mide en unidades W/m<sup>2</sup>K ó en W/m<sup>2</sup>°C.

**Valor U<sub>f</sub>** es el valor U del la carpintería de la ventana

**Valor U<sub>g</sub>** es el valor U del acristalamiento sólo

**Valor U<sub>w</sub>** es el valor U de la ventana entera

**Valor U<sub>ws</sub>** es el valor U de la ventana con ATM







# 02 ESTADO DEL ARTE

*La presencia del Aislamiento Térmico Móvil en la literatura académica, proyectos arquitectónicos y productos comerciales*

Este capítulo se considera dividido en 4 partes principales: El ATM en la literatura académica, ATM históricos, Casos de estudio y Productos comerciales.

El primer capítulo incluye publicaciones y actores relevantes al ATM. Incluye también un capítulo llamado “La desaparición del ATM en la literatura académica”, que se refiere en cierto sentido a los años 70-80 como el Siglo de Oro del ATM y que la consciencia sobre el ATM después de esta época ha estado en “caída libre”.

El capítulo dos incluye un discurso breve sobre la posición histórica del ATM. Los últimos dos capítulos presentan casos de estudio y productos comerciales de ATM en un contexto contemporáneo.

## 2.1 EL ATM EN LA LITERATURA ACADÉMICA

### 2.1.1 Publicaciones

---

Lo más llamativo de la presencia del ATM en la literatura de arquitectura y construcción sostenible es su aparición irregular. Un libro puede tener dedicado una o dos páginas al tema, mientras otros solo lo mencionan en una frase. En la mayoría de los libros sobre arquitectura sostenible y energía en los edificios se menciona el ATM, pero como si fuera un principio teórico y el autor no estuviera informado de la existencia de soluciones y componentes concretos. Esto me ocurrió por primera vez leyendo el libro *Energy and Environment in Architecture: A technical design guide* (Baker & Steemers, 2000). En el capítulo sobre aislamiento y puentes térmicos se declara que,

“El rendimiento térmico del acristalamiento es mejorable por el uso de cortinas o porticones o aislamiento nocturno.”<sup>1</sup> Seguido por, “En estructuras modernas las pérdidas del envolvente son dominadas por pérdidas del acristalamiento, que en realidad son puentes térmicos, pero en los que no están dispuestos a tratamientos aislantes convencionales.”<sup>2</sup> (Baker & Steemers, 2000)

Se identifica los acristalamientos como el punto débil de la envolvente con respecto a las pérdidas de calor y se menciona posibles tratamientos, pero no se profundiza más. En el resto del capítulo, el lector se queda con la impresión de que la única medida contra pérdidas de calor en las ventanas es elegir una ventana de alto rendimiento o bien reducir la superficie acristalada. De esta manera, el ATM, por ser solo mencionado en una frase, se descarta como contramedida real contra las pérdidas de calor.

---

1 Traducción mía, texto original, “The thermal performance of the glazing can be improved with the use of curtains or shutters or night insulation”

2 Traducción mía, texto original, “In modern structures envelope losses are dominated by losses through the glazing, which are in fact cold bridges, but are not amenable to conventional insulation treatment.”

Esta depreciación ocurre también en el libro *Análisis y gestión energética de edificios* (W. H. Clark, 1998). Lo curioso es que el traductor (C.M. Gómez) ha añadido su frustración de la depreciación diciendo,

“Las ventanas de doble panel con contraventanas (desafortunadamente las modernas construcciones obvian este accesorio tan útil [Nota del Traductor]), son ideales para todas las estaciones. El aislamiento es necesario para retardar el flujo térmico hacia el exterior en invierno y viceversa en verano” (Clark II, 1998)

Olvidando por un momento el ATM por sí mismo, el libro nos presenta varios conceptos interesantes, especialmente los gráficos sobre las relaciones entre la demanda de calor, pérdidas de calor y ganancias solares.

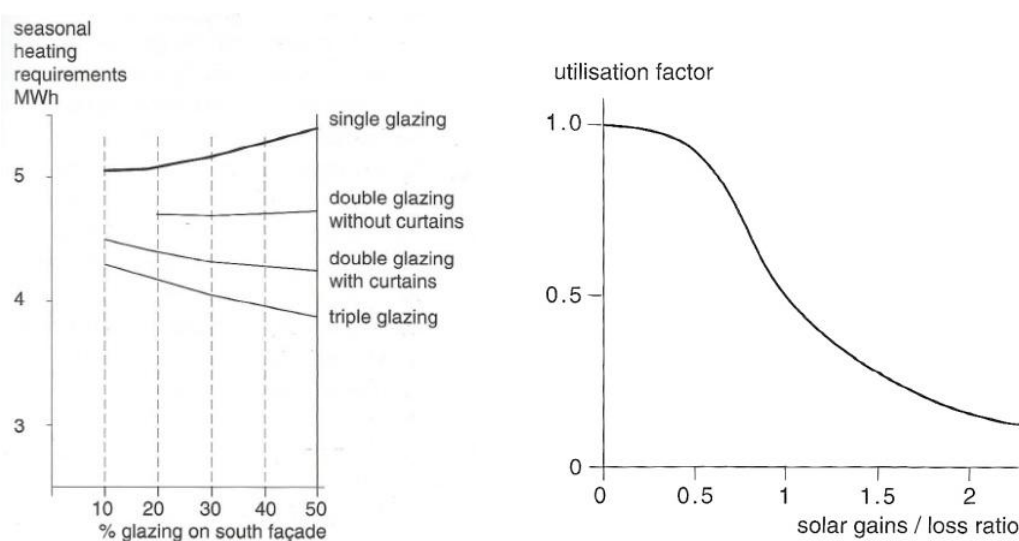


Fig. 4 **Izquierda:** Demanda de calefacción anual como función de superficie acristalada y tipo de acristalamiento en la fachada sur, para un edificio en el Reino Unido. (Baker & Steemers, 2000)

Fig. 5 **Derecha:** Factor de utilización de ganancias solares como función de ratio ganancias/pérdidas para un edificio de oficinas de peso medio en el Reino Unido (Baker & Steemers, 2000)

Primero, el libro nos introduce el concepto de ratio de ganancias solares a pérdidas de calor (Gains-Loss ratio o 'GLR') en superficies acristaladas. Es un tema relevante con respecto al balance energético y muy interesante porque el ATM es capaz de influir en las pérdidas y hacer un 'offset' de este ratio GLR.

El segundo concepto interesante es el factor de utilización. Este factor se basa en la relación entre la demanda de energía para calefacción y el GLR. El valor que sale, indica cual es la proporción útil de las ganancias solares netas (ganancias netas = ganancias brutas – pérdidas). Si la demanda de energía es más grande que las ganancias netas, casi todo de la energía solar será útil. Si la demanda es pequeña, la fracción de energía útil será menor.

En Fig. 5 se puede observar la relación entre el factor de utilización y el factor ganancia/perdida (GLR) para un edificio de peso medio en el Reino Unido.

Si el factor  $GLR = 1$ , las ganancias son iguales a las pérdidas y el factor de utilización es de solo 60%. Esto significa que se cubre la demanda de calor en el edificio con solo 60% de la energía solar captada en el edificio. El factor de utilización disminuye cuanto más grandes son las ganancias con respecto a las pérdidas. Este concepto es interesante e introduce una consideración importante: que la utilidad de las ganancias solares debería ser considerada en conjunto con la demanda de calor. No vale decir que más ganancias siempre = mejor- se llega a un punto donde las ganancias ya cubren la demanda de calor y el excedente empieza a ser un problema.

El Fig. 4 nos presenta la relación entre la demanda de calor, el porcentaje de superficie acristalada en la fachada sur y el tipo de acristalamiento incorporado para un edificio de peso medio en el Reino Unido. No es ninguna sorpresa que en el caso de acristalamiento simple, la demanda de calor aumenta con el aumento de superficie acristalada. La conductividad térmica del acristalamiento simple es alta, llevando a grandes pérdidas y un aumento en la demanda de calor.

Lo que quizás es más sorprendente es el caso de triple acristalamiento, donde se puede observar una reducción en la demanda de calor cuando se aumenta la superficie acristalada. Esta reducción indica que con un triple acristalamiento, las ganancias solares son mejores que las pérdidas (ratio  $GLR$ )- significando que una proporción de superficie acristalada de hasta 50% es justificable en edificios de peso medio en el Reino Unido. Sin embargo, es importante destacar que este grafico es para fachadas orientadas al sur. El mismo gráfico para acristalamiento dando al norte mostraría un aumento fuerte en demanda de calor con un aumento en la superficie acristalada, porque las fachadas dando al norte no recibe radiación solar directa suficiente para 'cubrir' las pérdidas.

Además, declaran que el grafico está sujeto a variaciones según varios factores, diciendo,

“Por ejemplo, para edificios usados principalmente por la tarde, la demanda de calor no coincidirá con la disponibilidad de calor solar. Esto resulta en un balance de energía neta peor en el acristalamiento. El rendimiento térmico del acristalamiento puede ser mejorado por el uso de cortinas, porticones o aislamiento nocturno. El balance de energía total del acristalamiento puede ser mejorado también si el edificio puede almacenar el calor durante el día en la masa térmica de la estructura.”<sup>3</sup> (Baker & Steemers, 2000).

Segundo, es importante destacar que las pérdidas en la ecuación serán sujetas a grandes cambios según la diferencia entre temperaturas interiores y exteriores. Estos gráficos son de edificios concretos en el Reino Unido, el gráfico para el mismo edificio situado en Noruega se verá bastante diferente.

---

3 Traducción mía, texto original: “For example, for buildings used mainly during the evening, the heating demand will not coincide with the availability of solar gain. This results in a poorer net Energy balance at the glazing. The thermal performance of the glazing can be improved with the use of curtains or shutters or night insulation. The overall energy balance of the glazing can also be improved if the building can store heat during the day in the thermal mass of the structure.”

Otro factor, que no se debería olvidar es la demanda de energía para iluminación. El acristalamiento representa, no solo una fuente de luz natural, sino también una fuente que reduce la demanda de energía para iluminación.

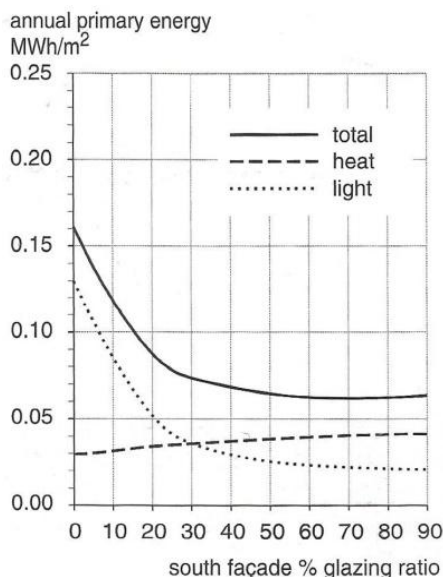


Fig. 6 Las curvas muestran la relación entre la demanda de energía para calefacción e iluminación en función con la superficie acristalada en un edificio de oficinas dando al sur en el Reino Unido. (Baker & Steemers, 2000)

En la figura superior se ve que en un edificio de oficinas en El Reino Unido, la demanda de energía para calefacción aumenta ligeramente con un aumento en la superficie acristalada (fachada sur). Por otro lado, la curva de la demanda de energía para iluminación es inversa y se disminuye con un aumento en la superficie acristalada. La curva combinada (línea sólida) se cae hasta unos 70% de superficie acristalada, desde que empieza subir. Esto nos recuerda que no se debería olvidar la relevancia de la energía para iluminación (quizás especialmente en oficinas). Dicho en las palabras de Baker y Steemers,

“Debido a la capacidad aislante baja del acristalamiento, el balance energético entre ganancias solares útiles y las pérdidas por conducción tiene que ser considerado. Sin embargo, el valor del acristalamiento para admitir luz natural afecta también el balance.”<sup>4</sup> (Baker & Steemers, 2000)

La cuestión de luz natural y calor solar forma también parte de uno de los argumentos fuertes del ATM. El autor ha propuesto anteriormente que la depreciación del ATM ha sido en parte por el acristalamiento de alto rendimiento térmico. En ventanas de este tipo, se ha reducido la conductividad térmica de la ventana al añadir más paneles de vidrio, cámaras de gas y capas de baja emisividad. Estas medidas son muy efectivas en bajar la conductividad (valor U), pero reducen al mismo tiempo la cantidad de calor solar y luz natural que entra en el edificio.

El argumento del ATM es que en muchos casos será mejor para el balance energético poner ventanas de solo doble acristalamiento sin capas bajo emisivas más un ATM, en vez de una ventana de alto rendimiento con 3 capas. Las ventanas de doble acristalamiento más ‘simples’ tienen normalmente un factor SHGC y factor de luz visible

<sup>4</sup> Traducción mía, texto original: “Because of the low insulation value of glazing, the energy balance between useful solar gains and conductive losses has to be considered. However, the value of the glazing for admitting daylight also affects the energy balance.”

más alto, permitiendo la entrada de más calor solar y luz natural. Al mismo tiempo, el ATM compensa la reducción de Valor U en pasar de un triple acristalamiento de alto rendimiento térmico a un doble acristalamiento.

Aunque en referencia concreta a la entrada de luz natural en edificios antiguos con poca superficie acristalada, este argumento está soportado por Borer & Harris (1998), que dicen,

“En casa antiguas con ventanas pequeñas, es probablemente más valioso proveer lo máximo de luz natural que ahorrar energía para calefacción (cada panel de vidrio elimina aproximadamente 13% de la luz). Así, se debería dejar las ventanas como acristalamiento simple y simplemente sellarlas bien en el perímetro y usar cortinas térmicas para reducir la convección y radiación por la noche.”<sup>5</sup> (Borer & Harris, 1998)

La cita se refiere específicamente a rehabilitaciones energéticas y desalientan la adición de más paneles de vidrio porque reduce la entrada de luz natural.

Hay que enfatizar que esta cita se refiere a situaciones donde la entrada de la luz natural por sí mismo es más importante que el ahorro energético. En la opinión del autor el simple acristalamiento no es recomendable usar hoy en día. Sin embargo, refuerza la posibilidad de que una ventana más simple (y económica) más un ATM puede eficazmente reducir pérdidas de calor, aumentar las ganancias solares y dar más luz natural al interior- una alternativa beneficiosa no solo en términos de ahorro energético y economía, sino también con respecto al confort del usuario.

Borer & Harris (1998) hacen nota de otro punto relevante: en ventanas modernas de alto rendimiento es cada vez más común que el valor U es peor en el marco que en el propio acristalamiento. Esto significa que en grandes superficies acristaladas, será mejor tener una ventana grande que varias más pequeñas y mejor cuanta menos superficie de marco con respecto al acristalamiento. Esto depende naturalmente del tipo de marco y acristalamiento, pero es relevante e importante tener en cuenta para el diseño de un aislamiento térmico móvil.

Es también interesante que Borer & Harris (1998) recomienden repetidamente utilizar dos ventanas practicables contrapuesta en vez del triple acristalamiento,

“Preferencia 1: Instalar ventanas practicables dobles, completamente selladas, con un acristalamiento doble con capa bajo E (12mm distancia entre paneles, como mínimo) y un single (o doble) acristalamiento.”<sup>6</sup> (Borer & Harris, 1998)

El razonamiento no es tan claro como el ánimo, pero el autor lo interpreta como que se habla a favor de soluciones ‘de capas’ y flexibles en vez de soluciones compactas y fijas- un argumento importante para el ATM.

---

5 Traducción mía, texto original: “In old houses with small window opening, providing maximum daylight is probably more valuable to you than saving heat energy (each pane of glass cuts out approximately 13% of the light). So leave the windows as single glazing and just draught-strip them and make sure the thermally-lined curtains reduce convection and radiation at night.”

6 Traducción mía, texto original: “Preference 1: Install double-casement windows, fully draught stripped, with one double low-E (12mm minimum spacing between panes) and one single (or double) glazing”.

Finalmente, el libro ofrece un gráfico simple pero informativo del impacto de dos tipos ATM distintos sobre el valor U total con diferentes tipos de acristalamiento (Fig. 7). En este diagrama se da nota de un factor importante: el impacto del ATM disminuye cuanto mejor sea la transmitancia térmica inicial de la ventana a la que se le aplica. El mismo ATM tiene considerablemente más impacto aplicado a una ventana de acristalamiento simple que a una de triple acristalamiento con alto rendimiento térmico inicial. Esto es importante a tener en cuenta con respecto al diseño, parámetros de rendimiento y las estrategias comerciales del ATM.

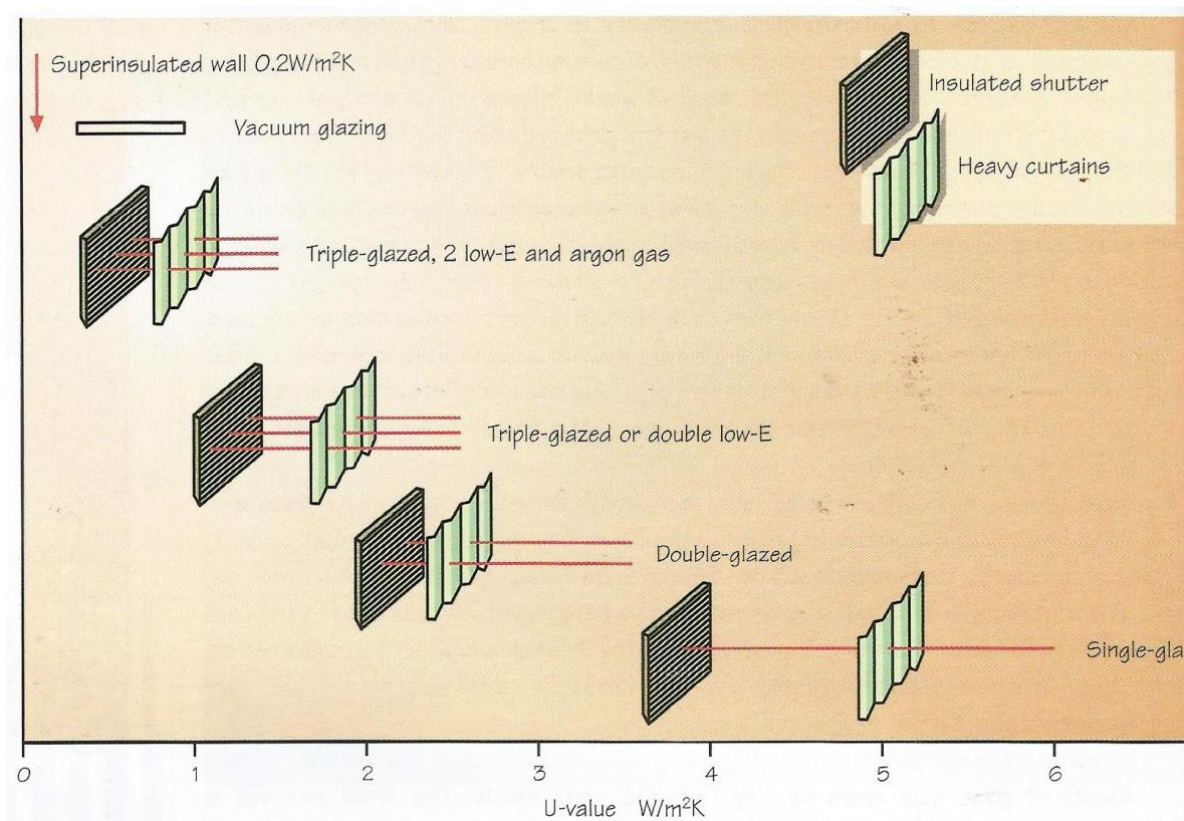


Fig. 7 Valor U modificado de diferentes tipos de acristalamiento (en marco de madera) con cortinas pesadas y persianas opacas aisladas (ATM) aplicadas. Cuando el valor U del propio acristalamiento se mejora, el efecto de los ATM se disminuye (Borer & Harris, 1998)

Recordando la cuestión de la posición del ATM en la literatura, es una tendencia que los libros de los años 80 normalmente tienen más información sobre el ATM- lo que corresponde bien con el Fig. 13, de la aparición de la palabra "movable insulation". Uno de estos libros es *Energy in Architecture: The European Passive Solar Book* (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993). Este libro tiene dedicadas dos páginas enteras sobre el ATM- una descripción relativamente profunda comparada con la mayoría de los otros libros.



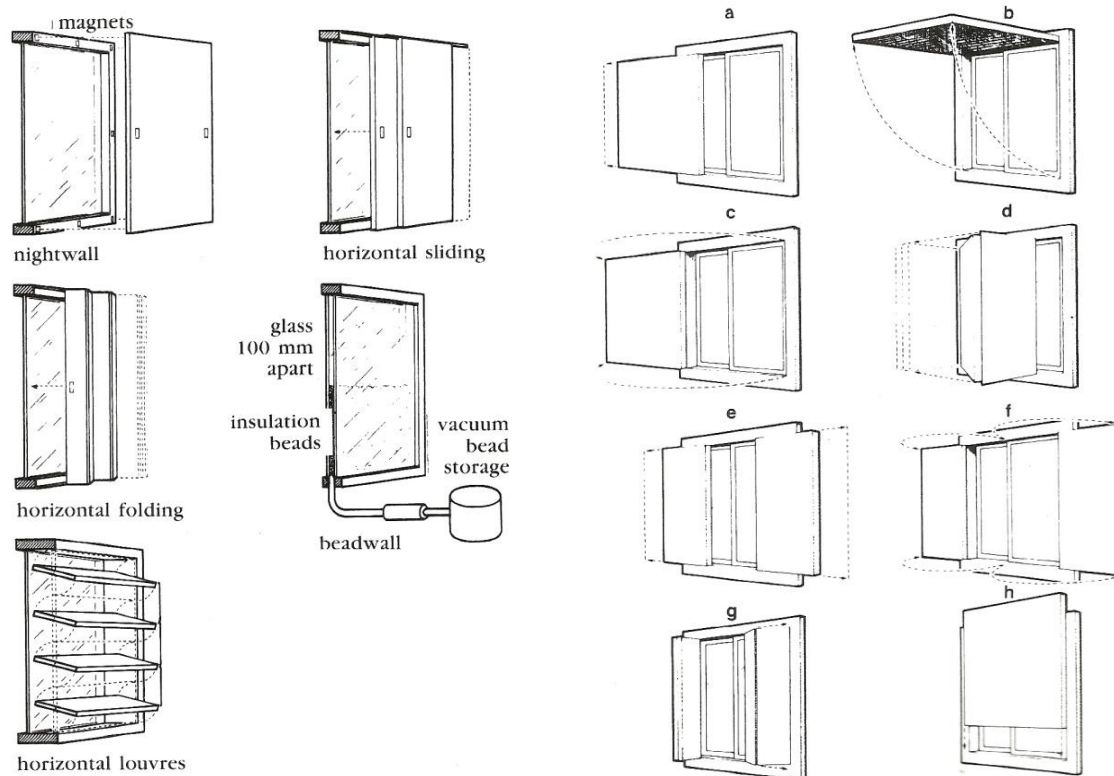


Fig. 8 **Izquierda:** Ejemplos de aislamiento móvil interno (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993)

Fig. 9 **Derecha:** Explorando posibilidades externas (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993)

Aparte de los esquemas conceptuales que te dan una buena aproximación a varios tipos de sistemas, el libro exitosamente hace hincapié en otra cuestión importante: la relación entre el espesor de una cámara de aire y su capacidad aislante. Aunque en este caso se refiere a la cámara de aire en un doble acristalamiento, se considera relevante para un ATM y su distancia al vidrio. Sobre esta distancia, Goulding, Lewis & Steemers (1993) dice,

“Espacio entre acristalamientos de aire o gas tiene una resistencia térmica proporcional a su espesor hasta aproximadamente 2cm. Desde este punto se mantiene constante hasta alrededor de 6cm se disminuye ligeramente después de eso.”<sup>7</sup> (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993).

Este argumento está corroborado por Borer & Harris (1998)<sup>8</sup>, que agregan que el empeoramiento en la resistencia desde 6cm es causado por corrientes de convección. Aparte de estudiar el problema de la condensación usando ATM en el interior, introducen otra cuestión importante que no siempre está incluida en otras publicaciones: la cuestión de la seguridad del vidrio frente a roturas térmicas. Declaran que,

<sup>7</sup> Traducción mía, texto original: “Air or gas-filled space between glazings has a thermal resistance that is proportional to its thickness up to approximately 2cm. It then remains constant to about 6cm and decreases slightly after that.”

<sup>8</sup> “The thermal resistance of the air space is proportional to distance, up to about 20mm, and then remains constant up to 60mm, after which it gets worse due to convection currents.” (Borer & Harris, 1998)



“Si se aplica aislamiento detrás de acristalamiento y no se lo quita cuando hay radiación solar directa, es posible que el estrés térmico se acumule en el vidrio, posiblemente causando una rotura térmica. Esto dependerá de la fijación perimetral del vidrio y si permite el movimiento térmico y/o de la presencia de sombreado parcial del vidrio que causa expansión diferencial.”<sup>9</sup> (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993)

Yo diría que este posible problema habla en favor de sistemas ATM de control automático, en que se puede incorporar soluciones de seguridad controlado por sensores térmicos.

En este libro, como en la mayoría de los otros, se recomienda colocar el ATM en el exterior para evitar problemas de condensación en el vidrio y porque un ATM afuera puede servir como protección solar durante el verano.

Se destaca también la importancia del tiempo de operación o el tiempo que tarda para el usuario operar los sistemas ATM (los que no son mecánicamente controlados). Un ATM que no está activado es, después de todo, totalmente inútil.

Una de las publicaciones más recientes, que a una gran sorpresa positiva incluye una sección entera más profunda y elaborada sobre el ATM es el ‘Integrated Sustainable Design’ (Kristinsson, 2012).

Quizás lo más interesante de este libro es su aproximación a la cuestión de tiempo. Anteriormente se ha considerado el uso de los ATM como algo estrictamente diario/nocturno. Este libro nos presenta varias situaciones en que el ATM podría ser utilizado estacionalmente: más o menos activo permanentemente durante la estación de calefacción. Por ejemplo, en un dormitorio dando al norte (donde pérdidas de calor son considerablemente más grandes), un ATM puede ser activo permanentemente durante la estación de calefacción porque el espacio no está usado durante el día y por lo tanto no exige iluminación ni vistas hacia el exterior. En países nórdicos hay, durante el invierno, poca luz natural y la luz viene tarde en la mañana. Por lo tanto, un usuario que trabaja entre las horas 09-17, será despierto y fuera de la casa mucho tiempo antes de que la luz toque al edificio.

Además, un ATM de aislamiento translucido (TIM) es un concepto útil para esta situación porque el sistema puede ser activado sin bloquear la entrada de luz natural. El potencial del aislamiento translucido está bien identificado por Kristinsson (2012), y sin olvidar una cuestión importante: el mismo sistema ATM de aislamiento translucido no funcionará tan bien como protección solar durante el verano porque la translucidez del mismo material no es tan eficaz contra la radiación solar. Como posible solución se propone colocar un material blanco reflejante o una capa coloidal que se vuelve blanca con temperaturas altas en la superficie exterior del sistema. Hace también una observación sobre el problema de condensación,

---

<sup>9</sup> Traducción mía, texto original: “If insulation is applied behind glazing and not removed during sunshine it is possible that thermal stresses could build up in the glass and cause it to break.

This will depend on edge fixing details for thermal movement and/or on the presence of partial shading of the glass to set up differential expansion.”

“La condensación en el vidrio fuertemente enfriado es inevitable, pero en el espacio entre el vidrio y la persiana [ATM] hay poco aire. Imagínate unos  $0,2\text{m}^2$  con una humedad relativa de 50%. Esto es  $1\text{ m}^2 \times 0,2\text{ m}^1 \times 50\% \times 17\text{ gr/m}^3 = 0,2 \times 0,5 \times 17 = 0,17\text{ gr.}$  de condensación. Cuando se abre las persianas esta condensación parece ser evaporado durante 2-3 minutos. Las persianas tendrán que ser impermeables.”<sup>10</sup> (Kristinsson, 2012).

Esto es interesante porque, de hecho, reduce la preocupación de condensación en el interior del vidrio con ATM en el interior. Si el sistema está bien sellado, la condensación, por el poco aire que hay en la cámara entre si y el vidrio, será muy pequeña.

Un actor más científico que es interesante para los acristalamientos y el ATM es la fundación SINTEF, basada en Trondheim, Noruega. Es un acrónimo de *La Fundación para la investigación científica e Industrial* y es la organización más grande de investigación independiente en Escandinavia. Su división para investigación en la edificación e infraestructuras, *SINTEF Byggforsk* publica investigaciones continuamente (cada vez más en el campo de casas pasivas) y son una referencia importante para arquitectos e ingenieros en Noruega.

En la publicación *Isolerruter: Lys- og varmetekniske egenskaper*, traducido a Ventanas Aislantes: Características técnicas térmicas y de iluminación, se incluye información y gráficos interesantes respecto al ATM.

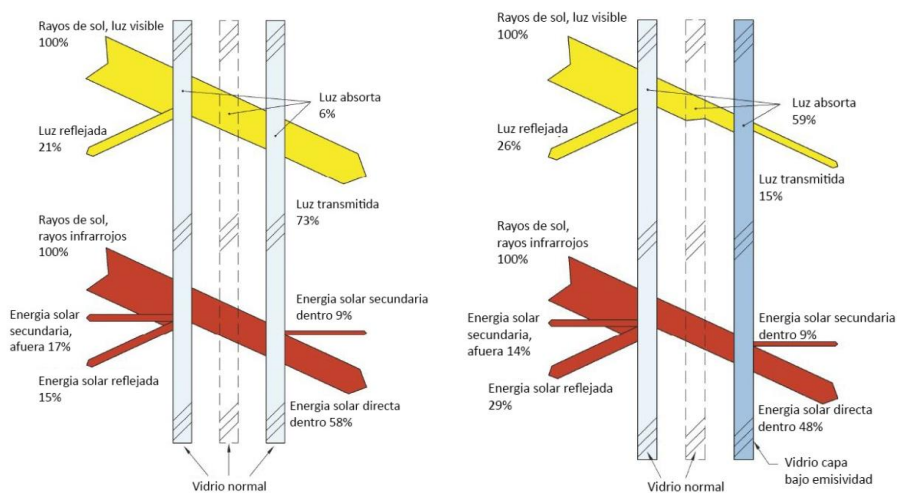


Fig. 10 **Izquierda:** Transmisión de luz y energía solar para una ventana aislante de acristalamiento triple con vidrio claro (Grupo 0) (SINTEF-Byggforsk, 2014)

Fig. 11 **Derecha:** Transmisión de luz y energía solar para una ventana de triple acristalamiento con vidrio con capa bajo E (Grupo 3) (SINTEF-Byggforsk, 2014)

Especialmente interesante es la información sobre las relaciones entre el valor U y el valor G: el uso de triple o cuádruple acristalamiento y capas bajo emisivas mejora el valor U pero al mismo tiempo reduce el factor solar y la entrada de luz natural. Esto es relevante para el argumento mencionado anteriormente: que en muchos casos será

<sup>10</sup> Traducción mía, texto original: “Condensation against the strongly cooled glass in winter is inevitable, but in the space between the shutter and the glass there is little air. Suppose  $0,2\text{m}^2$  with a relative humidity of 50%. That is  $1\text{ m}^2 \times 0,2\text{ m}^1 \times 50\% \times 17\text{ gr/m}^3 = 0,2 \times 0,5 \times 17 = 0,17\text{ gr.}$  of condensate. When the shutters are opened this condensate appears to be evaporated in 2 to 3 minutes. The shutters will have to be air-tight.”

mejor para el balance energético poner doble acristalamiento sin capas bajo E más un ATM, en vez de un triple o cuádruple acristalamiento con capas bajo E.

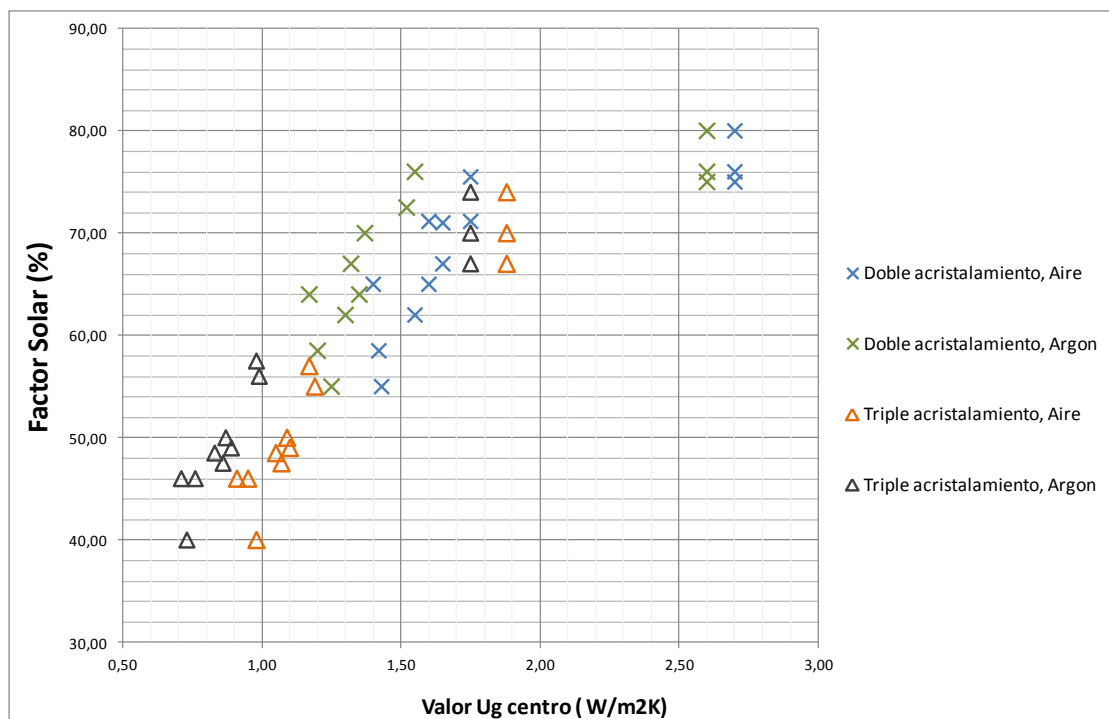


Fig. 12 Valor U centro y factor solar (Valor G) par varias ventanas en el mercado en Noruega. Las ventanas que tienen Valor U centro más alto son de vidrio normal sin capas bajo-E.

Datos de entrada de: (SINTEF-Byggforsk, 2014), Cuadro: Elaboración propia

Las figuras Fig. 10 y Fig. 11 ofrecen una explicación buena de lo que pasa con la radiación de luz y energía solar en contacto con una ventana, explicando claramente los cambios consecuentes siguiendo alteraciones en el tipo de ventana y capa bajo E.

Existe en el mercado una gran variedad de ventanas aislantes con diferentes combinaciones de cristal, cámaras de aire o gas y capas bajo emisivas. En

Fig. 12 se ven valores típicos para algunas combinaciones. La tendencia muy clara es que los acristalamientos de valor U más bajo, tienen también valor G y transmisión de luz natural más bajo.

Los dos trabajos que a los conocimientos del autor son los únicos que se dedican exclusivamente al tema de ATM fueron ambos publicados en 1980: 'Thermal Shutters and Shades' (Shurcliff, 1980) y 'Movable Insulation' (Langdon, 1980).

Los dos libros tienen incluido mucha teoría útil pero también capítulos exhaustivos con aplicaciones prácticas. Estos trabajos servirán como referencia a lo largo de este trabajo.

### 2.1.1 La desaparición del ATM en la literatura académica

La primera impresión recibida en el proceso de investigación del estado del arte es que en cierto sentido el aislamiento térmico móvil moderno nació en los años 70 y que lleva ahora la marca de estar en extinción.

Soy personalmente un gran fan de las estadísticas: a pesar de que pueden ser sesgadas y puestas fuera del contexto, raramente mienten y son el arma definitiva para matar mitos. Para reforzar el argumento con respecto al ATM y su decadencia se presenta el gráfico en Fig. 13, que nos presenta la aparición de las frases ‘movable insulation’, ‘thermal shutter’ y ‘thermal shade’ en libros publicados en inglés entre 1960 y 2008.<sup>11</sup>

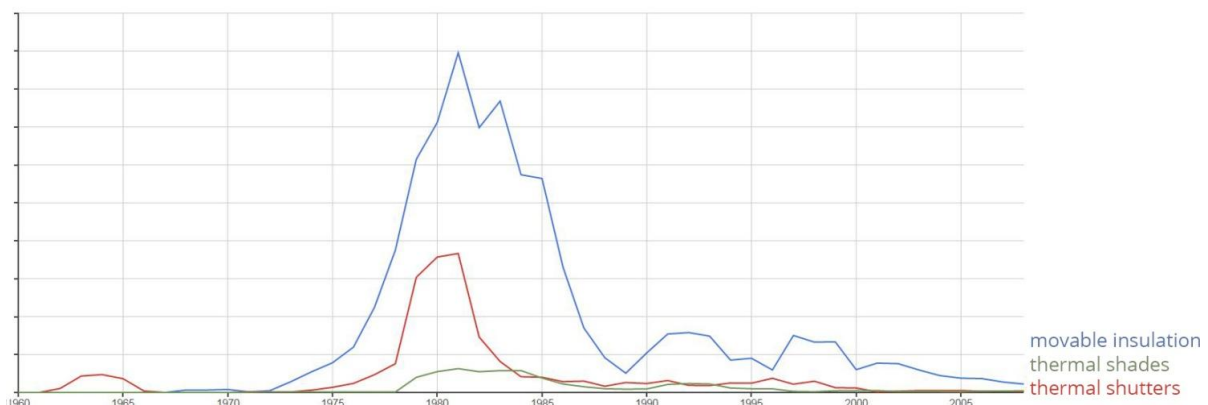


Fig. 13. Movable insulation, thermal shades, thermal shutters, (Google, 2013)

Se reconoce que los datos son basados principalmente en publicaciones en inglés y por tanto más representativos para los países con el inglés como lengua materna. Sin embargo, es un hecho que países como EE.UU, El Reino Unido, Canadá y Australia son líderes mundiales en tecnología e investigación y lo que pasa allí siempre es una referencia para el resto del mundo occidental.

Lo más llamativo del Fig. 13 es la ascensión violenta de la frase “movable insulation” en el medio de los años 70 y su culminación en el año 1982. Es curioso que estos movimientos en el gráfico correspondan exactamente con las crisis del petróleo de 1973 y 1979. Se pone aún más claro mirando la inflexión alrededor de 1990 que corresponde con el ‘shock’ del precio de petróleo del mismo año.

Se puede interpretar que la consciencia de ahorro energético está estrechamente relacionada con el precio y disponibilidad de la propia energía – algo que soporta bien un argumento común en la arquitectura: que la innovación prospera en tiempos difíciles. Zomeworks, un fabricante estadounidense de productos para casas pasivas y arquitectura solar dice en su página web,

“La crisis de petróleo [durante los años 70] llevaba muchos clientes buscando nuevas formas de reducir sus facturas de energía. Los créditos fiscales y frenesí de subsidios siguieron. Cuando los créditos fiscales- expiraban y el precio de petróleo bajó, el público perdió el interés por el ahorro energético.”<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Solo los libro registrados en Google Books

<sup>12</sup> Traducción mía, texto original, “The oil crisis brought many customers looking for ways to reduce their energy bills. Tax credits and subsidy frenzy followed. When the tax credits expired and oil prices came down, the public lost interest in energy conservation.”

La culminación del grafico en Fig. 13 corresponde también bien con la publicación de los dos libros considerados como los mejores sobre el tema y que a los conocimientos del autor son los únicos que se dedica exclusivamente al tema de ATM *Thermal Shutters and Shades* (Shurcliff, 1980) y *Movable Insulation* (Langdon, 1980).

Además podemos observar claramente el descenso constante de la aparición del término ATM y sus palabras relacionadas tras su punto álgido en 1982.

Aunque el grafico solo llega al año 2008 es curioso ver el descenso incluso hoy en día, una época que consideramos como de una alta consciencia sobre la sostenibilidad y el ahorro energético. Será muy interesante ver que ha pasado con el grafico en los últimos cinco años caracterizados por consciencia percibida alta de construcción sostenible y ahorro energético.

El fenómeno de evolución técnica es algo que pasa todo el tiempo: una técnica nueva superior en términos de tecnología, diseño o moda desafía y finalmente sustituye la existente. Lo normal es que un elemento tecnológicamente superior descarta a otro de la misma categoría. El caso del ATM es más curioso porque no ha sido realmente sustituido por una técnica parecida y el motivo de su desaparición no queda directamente claro. La teoría del autor es que el componente que el ATM originalmente ha sido diseñado para proteger (la ventana), ha experimentado su propia revolución técnica y como resultado ha hecho el ATM redundante. Este argumento es más claro cuando introducimos la frase 'triple glazing' (triple acristalamiento) en los parámetros de entrada (Fig. 14). Podemos observar que en el año 1998, la aparición de la frase triple acristalamiento ya ha superado el ATM.

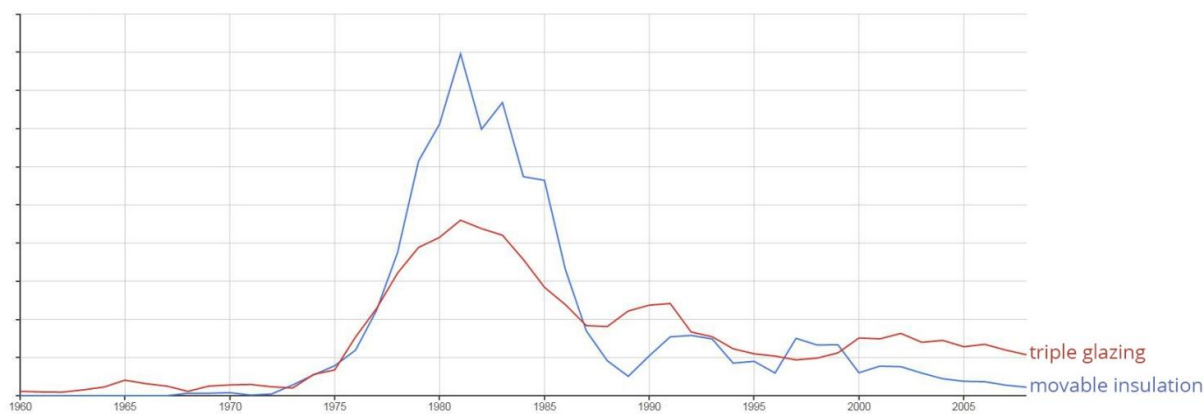


Fig. 14 Movable insulation, triple glazing, (Google , 2013)

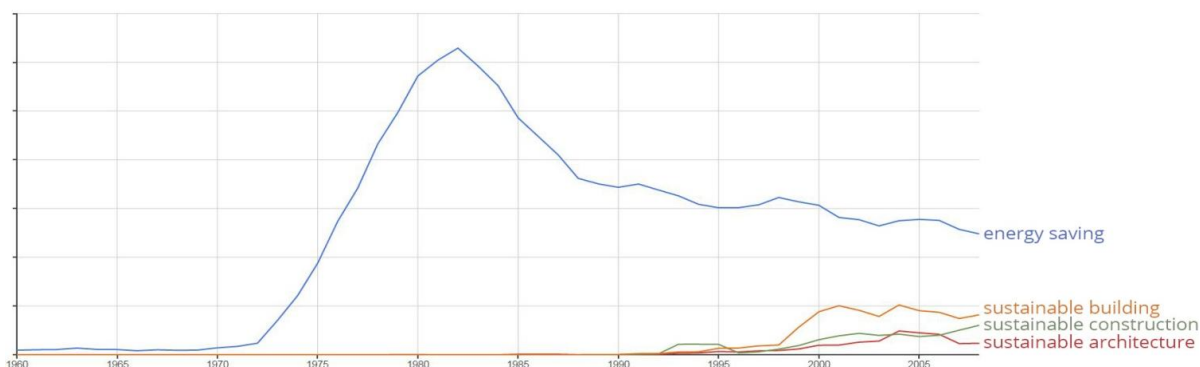


Fig. 15 Sustainable building, Sustainable construction, sustainable architecture, (Google , 2013)

Parece que el ATM no ha sido reemplazado por un componente tecnológicamente superior de la misma categoría, sino por otro de otra categoría. Sería como si dejáramos de usar otros sistemas de protección solar cuando se inventó la película de control solar. Son instrumentos con el mismo objetivo, usando diferentes métodos y uno no debería cancelar el otro, son más fuertes juntos.

Para el ATM ha sido un incidente desafortunado porque ha llevado a la casi extinción en la literatura de un componente que tuvo y tiene gran potencial en el campo del ahorro energético. Su rápida desaparición de la literatura académica parece validar el alegato de que su función en los edificios ya no es necesaria y que pertenece al pasado. Lo más alarmante es que todo esto ha pasado al mismo tiempo que la aparición de las frases sustainable building, sustainable construction y sustainable architecture se ha disparado (Fig. 15). En estos días de conciencia percibida elevada de la sostenibilidad, es quizás la hora de dar un paso atrás y revisar nuestra historia tecnológica, buscando experiencias importantes que puede haberse perdido en la carrera tecnológica de la última mitad del siglo XX. Si tomamos consejo de los gráficos arriba, el punto de inicio de la búsqueda debería ser en los años después de una crisis de escasez de energía. Con respecto a la caída drástica del precio de petróleo en el último año causado por abundancia en el mercado, parece que no estamos en ningún peligro inmediato de tener otra crisis.

Otra observación interesante es la primera aparición de la frase 'movable insulation'. Parece que aparece por primera vez a los finales de los años 60. Esto no significa que el ATM no existiera anteriormente, sino que la frase fue acuñada en aquella época, llevándonos a una distinción importante.

En este trabajo se quiere distinguir entre sistemas de protección de ventanas y sistemas de Aislamiento Térmico Móvil: un sistema de protección de ventanas es un dispositivo antiguo o bien nuevo que ha sido diseñado no necesariamente para reducir pérdidas de calor sino con otro objetivo principal, ya sea proteger contra el sol, viento, lluvia, ruido o vecinos curiosos.

Un ATM es cualquier dispositivo diseñado específicamente con el objetivo de reducir pérdidas de calor y que lo hace de una forma relativamente eficaz. Entre los sistemas históricos la cortina pesada es quizás la más cercana a un ATM porque ha sido diseñada específicamente para reducir pérdidas de calor y aumentar el confort térmico y lo hace bastante eficazmente.

Visto en este contexto histórico, podemos entonces llegar a la conclusión de que el estado del arte del ATM está relativamente mal. Sin embargo no se ha muerto y vive hoy en día. En los siguientes subcapítulos vamos a ver más sobre los conceptos básicos del ATM, publicaciones sobre el tema y sus aplicaciones en proyectos antiguos y recientes.

## 2.2 ATM HISTÓRICOS

El aislamiento térmico móvil no es algo nuevo sino algo que ha sido utilizado durante siglos, probablemente desde que han existido las ventanas. En algunos casos, aún antes que la llegada de la ventana.

En Noruega, las primeras ventanas no contenían vidrio, sino eran solo aberturas en la pared. Para protegerse del frío durante la noche se solía tapar estas aberturas con un panel de madera. Por definición, estos paneles eran un tipo de aislamiento térmico móvil. Igualmente era común tener en la cubierta de las casitas algo que se llamaba "ljore". En la época cuando se cocinaba con fuego abierto en el interior, el ljore era una abertura en la cubierta con el objetivo de dejar salir el humo y dejar entrar la luz. La abertura era rectangular y del tamaño de una ventana pequeña. Era abierta durante el verano y con buen tiempo, y el resto del tiempo se cubría con un *skjå*- un marco cuadrado de madera tapizado por la piel del estomago de una vaca. Por definición, el *skjå* era un ATM prehistórico de carácter translucido.

Más tarde, en la época de las ventanas acristaladas se han usado varios tipos de ATM, especialmente las cortinas pesadas y los porticones. Históricamente, han sido en gran parte medidas reactivas a la incomodidad térmica en el interior causada por las ventanas primitivas usadas en edificios antiguos con fugas y acristalamiento simple.

Aunque muchos sistemas históricos son agradables desde el punto de vista estético tienen en común que no son tecnológicamente perfeccionados ni especialmente eficaces. Esto es principalmente porque fueron originalmente pensados para otra función o por falta de conocimientos sobre la física térmica o tecnología.

Ya existe una gran variedad de sistemas en edificios antiguos en forma de persianas, porticones y cortinas-incluso aquí en Barcelona. Los tipos más comunes son los siguientes:

- Las persianas (roller, veneciana, vertical)
- Las cortinas pesadas
- Porticones opacos

### **Porticones opacos**

Un porticón es un dispositivo parecido a una puerta, incorporada al exterior o interior de una ventana- normalmente mediante bisagras. Como la persiana, es una herramienta o filtro destinado a proteger la ventana y el interior del edificio de condiciones exteriores como sol, viento, lluvia, frío, ruido o bien vecinos curiosos. Se supone que se instalaban los porticones a menudo por cuestiones de seguridad, en las épocas anteriores a la alarma y los seguros de hogar.

A lo largo de la historia de los sistemas de protección de ventanas en la arquitectura, los porticones exteriores de madera han sido quizá la solución predominante y aparecieron en escena incluso antes de la llegada del cristal.





Fig. 16 **Izquierda:** Porticones opacos exteriores (Flickr.com)

Fig. 17: **Derecha:** Contraventanas opacas interiores, típicas en los edificios en el Eixample, Barcelona (Filt3rs.net)

Los porticones pueden ser colocados en el exterior o interior de la ventana y los tipos conocidos son: pivotantes en eje vertical, pivotantes en eje horizontal, plegables en ambos ejes y corredizos en ambos ejes con estructura rellena de panel opaco. Aunque su concepto básico es servir como algún tipo de protección, se supone por su carácter estético que en muchos casos han sido tanto diseñados como un embellecimiento o adaptación vernáculo, que como protección a los agentes climáticos. Los porticones históricos han sido fabricados artesanalmente de forma experta y normalmente con los mejores materiales. Con dichos criterios y un mantenimiento regular, estos porticones de madera pueden durar décadas o incluso siglos.

Si hablamos de porticones exteriores pensados como protección contra agentes climáticos, el agente principal varía según la zona geográfica y sus condiciones climáticas. Los porticones se ven con alta frecuencia en España, como resultado de la radiación solar fuerte en la península ibérica. Se supone que los porticones han sido aplicados también por cuestiones de seguridad frente a intrusión. Los porticones son un tema recurrente en los diseños y edificios del maestro Antoni Gaudí.

En Noruega, se ha utilizado los porticones desde hace mucho tiempo. La aplicación era en gran medida con el objetivo de seguridad y para preservar la propia ventana, especialmente en edificios estacionales, como las cabañas en las montañas.

En términos térmicos y como sistema de aislamiento térmico móvil, los porticones de panel opaco son los más interesantes. Normalmente no tienen incorporado aislamiento térmico pero al ser opacos y relativamente impermeables, hacen uso del aire atrapado entre el panel y el vidrio como capa aislante (el aire por sí mismo tiene resistencia térmica, si está en estado inmóvil). Conceptualmente, lo que hacían los porticones de panel opaco era temporalmente convertir las ventanas de pobre rendimiento en algo más como una pared opaca.





Fig. 18 **Izquierda:** Porticones opacos de madera en un edificio construido alrededor del año 1680 en Røros, Noruega. El edificio fue derribado en 1929. (Olsen, 1929)

Fig. 19 **Derecha:** Porticones opacos decorados con un patrón de rosas, muy típico en Noruega. (Akershusbasen, Año desconocido)

En términos de sistema de operación, el porticón exterior pivotante en eje horizontal con o sin pliegues es muy interesante. Estos dispositivos han mostrado su versatilidad al servir también efectivamente como protección solar. Cuando está en la posición cerrada cubriendo la ventana puede servir (según estructura relleno) como protección solar, contra ruido, para privacidad, contra penetración de luz o para proteger la propia ventana de agentes climáticos. Una vez en posición abierta, posicionado como un plano horizontal arriba de la ventana puede servir como protección solar (como voladizo, sin reducir la visibilidad), protección de lluvia o como pantalla de privacidad.

La gran bonificación adicional de este sistema que quizá no tiene referencias históricas pero que es absolutamente interesante es el concepto de "lightshelf". Si el eje de giro está colocado no arriba de la ventana sino atravesándola en la parte superior y la cara exterior del porticón tiene incorporada una superficie reflejante o de color brillante, esta misma superficie es capaz reflejar y aumentar la cantidad de luz que entra en el edificio.

### Las Persianas

Históricamente, las persianas térmicas han sido quizás las soluciones menos adoptadas debido a su compleja naturaleza.

Por eso, no es ninguna sorpresa que el ejemplo presentado aquí fue diseñado por Gaudí- famoso no solo por sus diseños únicos sino también por los detalles elaborados en sus edificios.

En el edificio el Capricho de Comillas, construido en 1883, Gaudí incorporó unas extraordinarias persianas roller enrollables de madera. Las persianas se deslizan en dirección horizontal y seguramente fueron muy complicadas de construir en el año 1883. Antes de la época de maquinaria de control numérico cada pieza fue producida a mano, con una precisión increíble.



Fig. 20 Persianas roller horizontales por Antoni Gaudí en El Capricho Comillas (Filt3rs.net)

El Gaudí tenía una pasión por los filtros en las aberturas y se encuentra soluciones elaboradas y técnicamente avanzadas en mucho de sus edificios residenciales.

### Las Cortinas pesadas

A lo largo de la historia, las cortinas han sido utilizadas, no solo para bloquear la entrada de luz y para privacidad, sino también para evitar pérdidas de calor. O mejor dicho, han sido utilizados como contramedida dirigida a la incomodidad térmica interior, causada por las ventanas históricas con fugas y acristalamiento simple.

Aunque las cortinas no siempre tenían gran resistencia térmica, fueron una eficaz contramedida contra las corrientes de aire causadas por fugas en la abertura o por la convección contra la ventana. Además, aumentaban la sensación de calor en el interior o cerca de las ventanas por aumentar la temperatura radiante de las ventanas.

Aunque era un hecho no siempre conocido en estas épocas, es crucial que las cortinas estén bien colocadas y las juntas bien selladas para reducir eficazmente la convección. Las juntas tienen que estar bien selladas, especialmente en el perímetro inferior y superior- cuanto más mejor. Segundo, es importante que la distancia entre el vidrio y las cortinas no sea grande (distancias altas pueden causar convecciones en esta misma cámara de aire).

En la historia se ha utilizado muchos tipos diferentes. Las más eficaces han sido las de tipo pesado, como las que se usan en el escenario de un teatro. Podían tener integrado un forro pesado, incluso de plumón de ganso, ofreciendo cierta capacidad aislante. Más importante era que se basaban en un lastre integrado en el borde inferior, que

efectivamente sellaba la junta inferior entre la cortina y el suelo. Esto, combinado con una cenefa (cajón) en el parte superior, formaba una solución bastante eficaz para reducir la convección no deseada en el interior.



*Fig. 21 La cenefa, no solo elemento decorativo, sino una herramienta eficaz contra la convección* (Architectdesign, 2014)

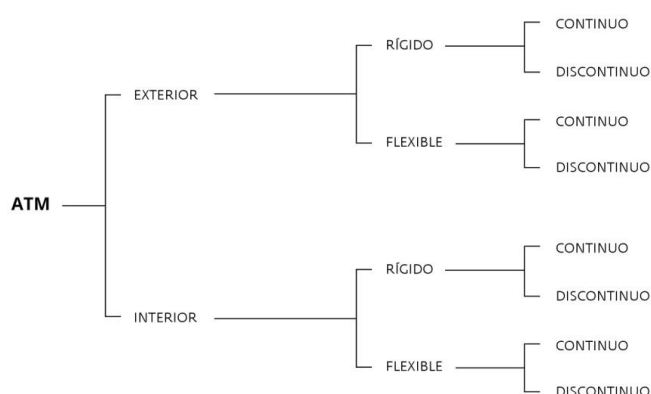
Hoy en día, cortinas diseñadas especialmente para evitar pérdidas se llaman 'cortinas térmicas' y existen en el mercado en una gran variedad. Típico para las cortinas térmicas es que están compuestas por un 'sándwich' de varias hojas- donde cada una tiene su función designada. Más sobre eso en capítulo 2.4 - Casos de estudio.

A parte de las cortinas térmicas que a veces tenían forro de plumón de ganso, en la historia del ATM, se encuentra pocos ejemplos de soluciones que hayan incorporado aislamientos térmicos específicamente. Esto tiene relación con el hecho de que todo el campo del aislamiento industrializado tal como lo conocemos hoy en día es relativamente nuevo. Claro, se ha utilizado aislamientos desde hace la edad de piedra en forma de paja, nieve o piel de animales. Sin embargo, fue principalmente con la llegada de productos aislantes estandarizados e industrializados que se podría empezar de hablar sobre incorporación en sistemas móviles.

Sin embargo, lo que es más interesante acerca de los ATM históricos no es su rendimiento térmico sino sus sistemas y modos de operación, entre los cuales se encuentra muchos todavía usados hoy en día. Los principios fundamentales del porticón, cortina o bien persiana están en gran parte presentes hoy en día, aunque con mejoras substanciales en el aspecto técnico. Con esto en mente en los siguientes capítulos trataremos los productos y aplicaciones contemporáneos. La investigación no busca reflejar todos los productos o sistemas existentes en el campo de los ATM, sino aquellos más representativos y con mayor potencial arquitectónico, para poder analizarlos y obtener conclusiones útiles para futuros diseños.

## 2.3 CATEGORIZACIÓN DE LOS ATM CONTEMPORÁNEOS

Con el objetivo de categorizar cualquier tipo de ATM existente o emergente en el futuro se ha establecido un sistema de caracterización que tiene en principio tres niveles o filtros: el primero es su posición frente a la ventana, el segundo es la flexibilidad física del material aislante y el tercero es si es un material continuo o discontinuo. Expresado gráficamente como un árbol se ve así:



**Interior / Exterior** se trata de la posición física del ATM respecto a la ventana.

**Rígido / Flexible** se trata de la característica física del material aislante. Rígidos incluye todos los tipos de placas o paneles rígidos. Flexibles incluye todos los tipos de cortinas y mantas y muchos tipos de persianas compuestas por lamas o células, con el criterio de que pueden ser enrolladas o estiradas.

**Continuo / Discontinuo** indica la característica física continuo del material aislante. Continuos son paneles y tableros con solo un pliegue o menos, cortinas, mantas, etc. Discontinuos son los sistemas de lamas, como muchos tipos de persianas.

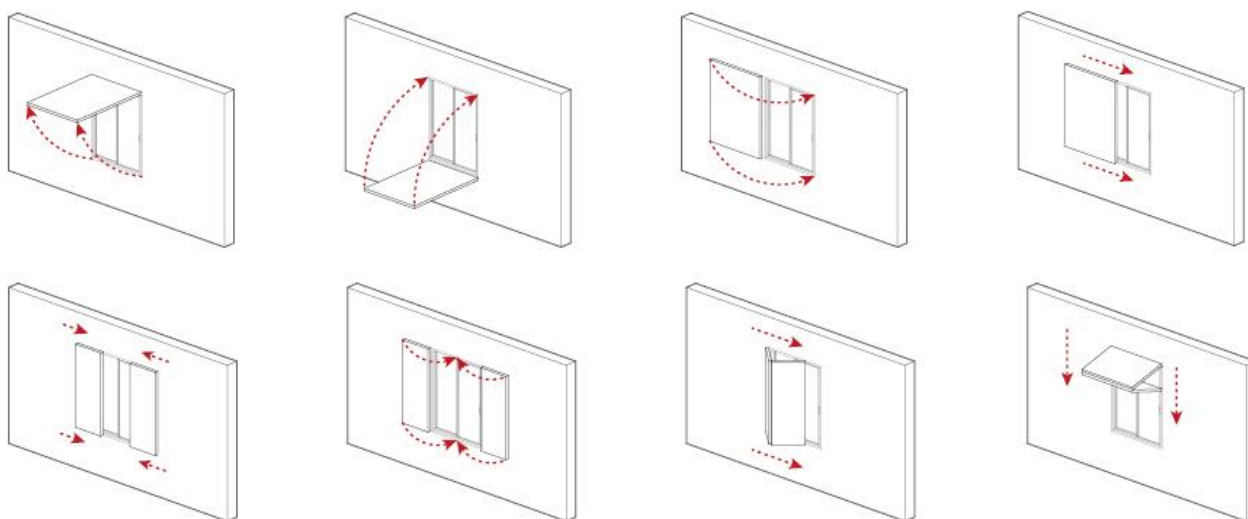
Esta es la categorización que se utilizará en los siguientes capítulos. Aquí se presentan los tipos de ATM más conocidos clasificados con el sistema de caracterización presentado anteriormente.

EXTERIOR	RÍGIDO	CONTINUO	• Porticones opacos • Pop-In
		DISCONTINUO	• Lamas rígidas
	FLEXIBLE	CONTINUO	• Mantas térmicas
		DISCONTINUO	• Persianas térmicas

INTERIOR	RÍGIDO	CONTINUO	• Porticones opacos • Pop-In • Contraventana de vidrio (Storm window)
		DISCONTINUO	• Lamas rígidas
	FLEXIBLE	CONTINUO	• Cortinas térmicas • Película plástica
		DISCONTINUO	• Persianas térmicas • Aislamiento entre acristalamiento

## INTERIORES

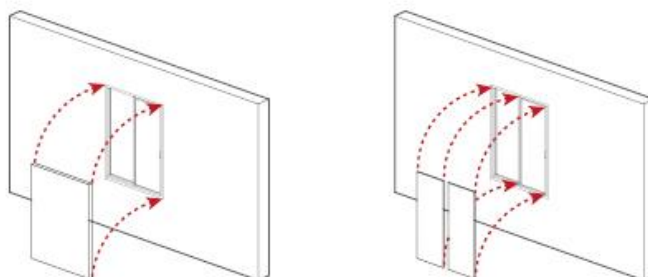
### Porticones opacos



*Porticones opacos de material aislante fijados en la pared como sistema practicable, incluyendo los sistemas de operación: plegable, corredera, levadiza, proyectable, abatible, etc. Estos exteriores son más resistentes a agentes climáticos que los interiores. (Elaboración propia)*

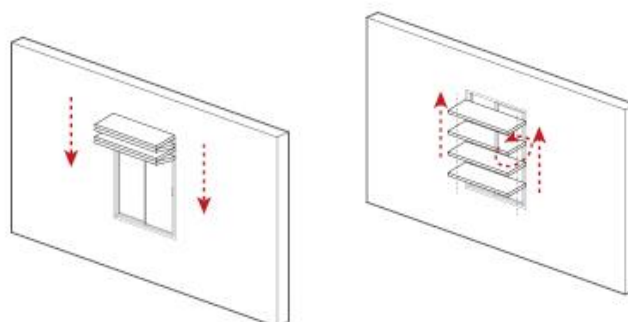
### Pop-In

*Sistemas de panel opaco aislante que no son permanentemente colgados en la pared o ventana, sino operados a mano por un usuario que trae los paneles de su espacio de almacenamiento temporal y los cuelga en su posición en la ventana.*



### Lamas rígidas

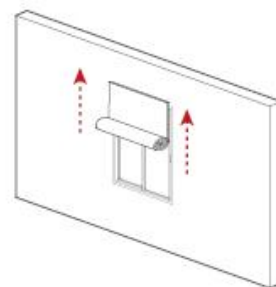
*Sistemas normalmente de 3-6 lamas rígidas ajustables. Puede ser sistema plegable o tipo persiana*





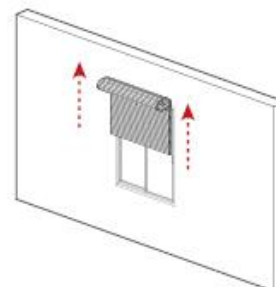
## Manta térmica

*Mantas o textiles pesados de carácter aislante. Sistema de operación normalmente de rodillo*



## Persianas térmicas

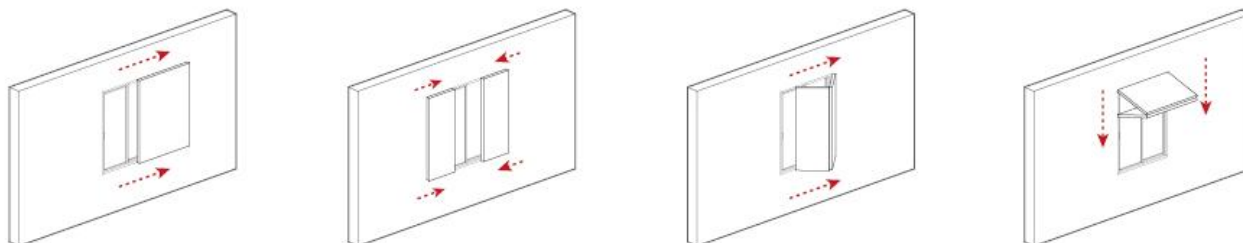
*Sistemas de tipo persiana con lamas de carácter aislante, más resistentes a agentes climáticos.*



## INTERIORES

---

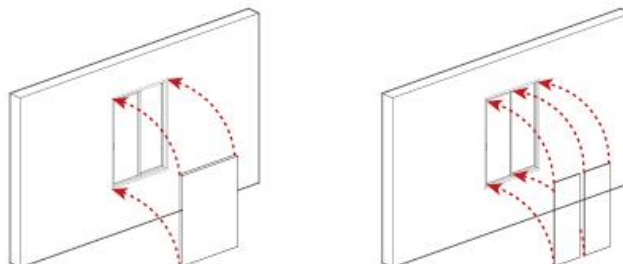
### Porticones opacos



*Porticones opacos de material aislante fijados en la pared como sistema practicable, incluyendo los sistemas de operación: plegable, corredera, levadiza, proyectable, abatible, etc.*

### Pop-In

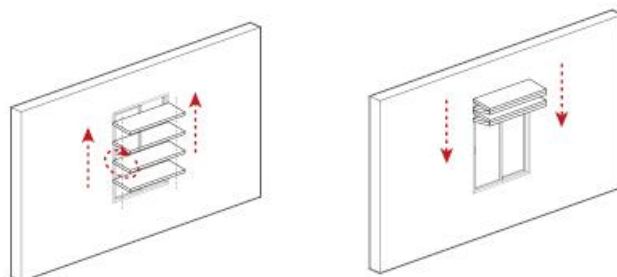
*Sistemas de panel opaco aislante que no son permanentemente colgados en la pared o ventana, sino operados a mano por un usuario que trae los paneles de su espacio de almacenamiento temporal y los cuelga en su posición en la ventana.*



## INTERIOR – RÍGIDO - DISCONTINUO

### Lamas rígidas

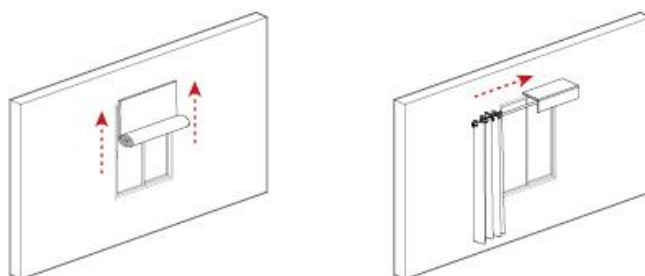
*Sistemas normalmente de 3-6 lamas rígidas ajustables. Puede ser sistema plegable o tipo persiana*



## INTERIOR – FLEXIBLE - CONTINUO

### Cortinas térmicas

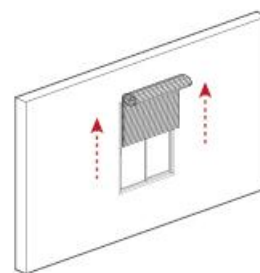
*Cortinas de textil o mylar metálico de carácter aislante*



## INTERIOR – FLEXIBLE - DISCONTINUO

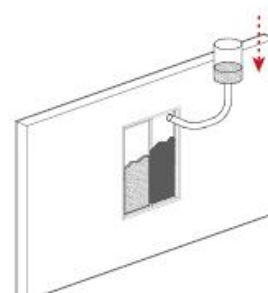
### Persianas térmicas

*Sistemas de tipo persiana con lamas o textiles de carácter aislante*



### Aislamiento entre acristalamiento

*Sistemas basados en el relleno temporal de la cámara entre dos paneles de vidrio con un material aislante moldeable.*



Generalmente se considera a los sistemas de porticón opaco como los térmicamente más eficaces. Sin embargo, la naturaleza de estos sistemas lleva normalmente a costes mayores porque requieren sistemas de operación más elaborados- especialmente si están colocados en el exterior.

Las cortinas o mantas tienden a ser las soluciones más económicas porque son soluciones ligeras que no requieren sistemas de operación muy complejos. Se han registrado ejemplos donde se han reutilizado edredones antiguos como ATM- seguramente el sistema más económico de todos. Sin embargo, son los sistemas probablemente menos eficaces y en los que es más difícil resolver la estanquidad al aire porque se basan en componentes flexibles. Además, normalmente no permiten sistemas de operación automáticos, lo que significa una gran limitación como ATM.

La persiana puede ser un sistema muy eficaz respecto a su coste de inversión. Son relativamente económicas y por su aprovechamiento del aire como aislante funcionan bastante bien. Además, pueden ser controladas de forma completamente automática y no requieren ningún espacio libre alrededor de la ventana.

El sistema pop-in se basa en paneles sueltos que se almacenan en un sitio separado y que se cuelgan manualmente en la ventana o marco. Generalmente, este sistema no es muy recomendable porque su sistema de operación no es muy práctico. Por otro lado, representa el sistema seguramente más eficaz respecto al coste y puede ser una solución de “emergencia” o de “bricolaje”: el usuario puede hacerse su propio ATM con solo componentes y herramientas disponibles en cualquier tienda de conveniencia. Otro aspecto es que estos sistemas pueden servir como maqueta: un sistema que se hace económicamente y rápido con que se puede comprobar el efecto del ATM antes de invertir en un sistema permanente y más costoso.



## 2.4 CASOS DE ESTUDIO

Para no definir un punto específico en la historia que sea la separación entre los ATM históricos y contemporáneos, se definen los ATM contemporáneos principalmente como los correspondientes a la última mitad del siglo 20.

Entre los contemporáneos se ve, naturalmente, un gran avance en las soluciones técnicas, mejorando el rendimiento térmico. En este capítulo se enfoca principalmente en sistemas diseñados específicamente con el objetivo de reducir pérdidas de calor aunque algunos sistemas pueden ser incluidos porque ofrecen otras soluciones y aspectos interesantes para el ATM. En las siguientes páginas se presenta un conjunto de sistemas comerciales y aplicaciones arquitectónicas que corresponden a alguna de las categorías presentadas anteriormente.

---

### Exterior – Rígido – Continuo

---

Térmicamente, en el mundo de los ATM, los porticones de panel opaco son el “heavyweight”. Con la condición de que el sistema es hermético, la combinación de la capacidad aislante del aire atrapado entre el panel y el vidrio junto con la capacidad aislante del material por si mismo ofrece en gran medida el mejor rendimiento térmico de todos los sistemas ATM. Respecto al rendimiento acústico estos sistemas son normalmente mejores porque la propia masa de su material aéreo propicia un mejor comportamiento a ruido aéreo.

Naturalmente, siendo el “heavyweight” lleva la desventaja de ser más pesado, exigiendo también un sistema con componentes más pesados- normalmente propiciando costes más altos también.

### Casa en Santarém de Joao Alvaro Rocha

#### *Porticones exteriores correderos con aislamiento térmico*

Esta casa del arquitecto Joan Alvaro Rocha está situada en una zona rural en Santarém, Portugal. Se ha incorporado un ATM en forma de porticones opacos corredizos. Las placas tienen un marco de acero con relleno de poliuretano y un sándwich de tableros contrachapados y un aislante térmico en el medio.



Fig. 22 Los ATM visibles en la fachada (Filt3rs, 2013)

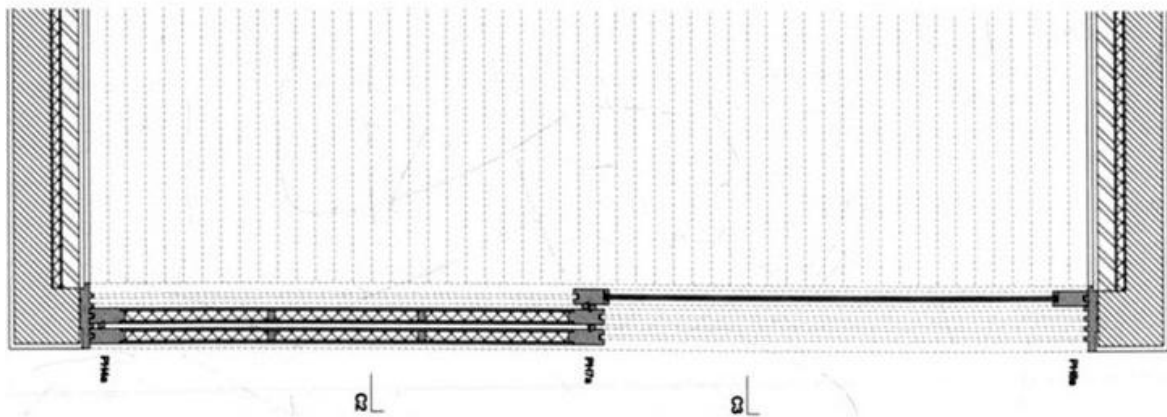


Fig. 23 Los porticones corredizos integrados. Alves, Luis Ferreira (Filt3rs, 2013)

El marco se sitúa inteligentemente dentro de los paneles, cubierto por los tableros contrachapados- reduciendo puentes térmicos y protegiendo el acero contra la oxidación. Las placas dan la sensación de ser robustas, y se integran bien en la expresión arquitectónica. Forman un conjunto de una fachada dinámica, expresando las actividades que tienen lugar en el edificio.

A parte de que son corredizos, se queda desconocido no queda claro cómo funciona la operación de los porticones, aunque se supone que se los operan a mano.



Fig. 24 *Detalle horizontal* (Filt3rs, 2013)

El uso de aislamiento térmico móvil es un tema recurrente en los proyectos de Rocha- aparentemente no solo con el rendimiento térmico en mente, sino en gran parte como elemento arquitectónico.

## **Skagen ØKontor de Various Architects**

*Porticones exteriores correderos, Fachada dinámica*

Este proyecto de oficinas “verdes” en Haugesund, Noruega fue diseñado por Various Architects (Oslo, Noruega) y Pollen Architecture (Austin, Texas, EE.UU) como una respuesta a la conferencia de desarrollo sostenible, COP15 Climate Change Conference, organizada en Copenhague en 2009. Pretende ser un proyecto de referencia para oficinas sostenibles en climas nórdicos.

El diseño, llamado ØKontor (Oficina ecológica), incorpora porticones opacos aislados que se controla individualmente. Pueden ser abiertos durante el día para permitir la calefacción pasiva, y cerradas durante la noche o días nublados para evitar las pérdidas. Los porticones permiten al usuario manipular la superficie acristalada de la fachada, manteniendo un porcentaje de huecos entre 60 y 20% de la fachada. La superficie interior de los porticones tiene además iluminación LED incorporada para imitar luz natural durante periodos de oscuridad en los meses invernales.

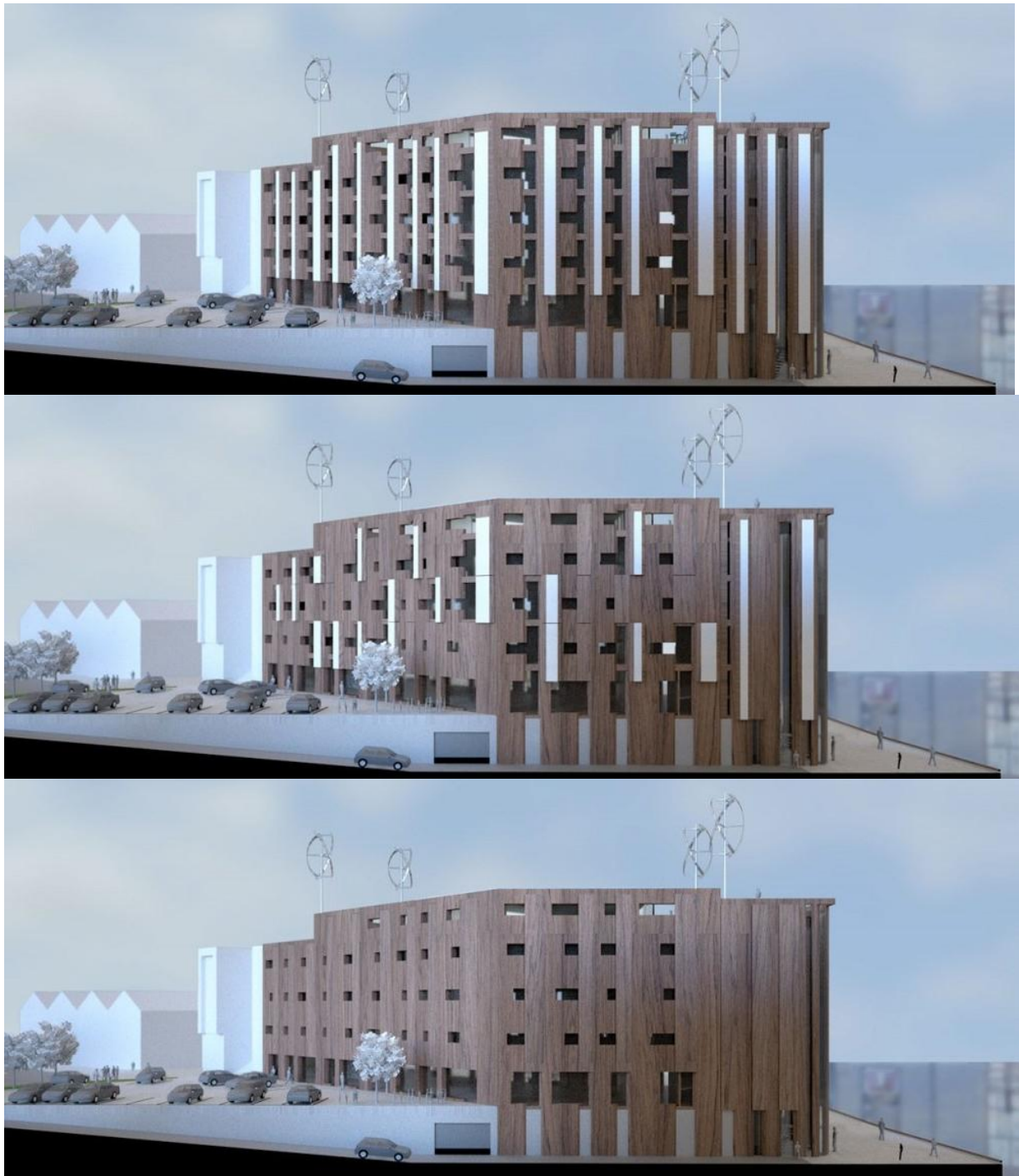
Este proyecto es interesante porque se integra el ATM desde la fase inicial, como un componente integrado en la arquitectura. La tipología y escala es también interesante porque se muestra que el ATM es algo que se puede implementar, no solo en casas unifamiliares, sino también en edificios comerciales de gran escala.

En este proyecto se estima que el ATM proporciona unos 15% adicionales de ahorros de calefacción. Esto es un buen número considerando que la energía para calefacción en edificios en Noruega constituye una gran proporción del uso de energía total.



*Fig. 25 Los ATM formando una fachada dinámica*





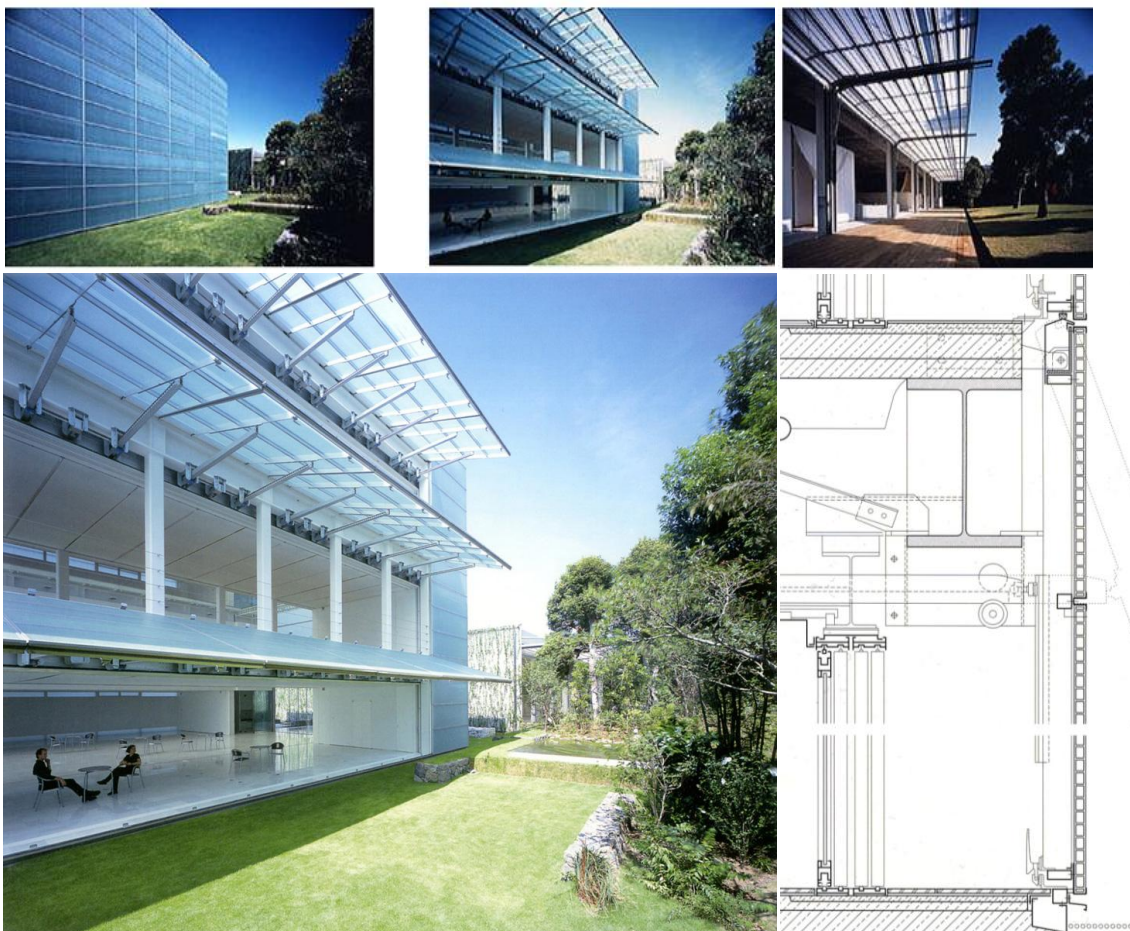
*Fig. 26 Las imágenes muestran los movimientos en la fachada hechos posibles por los porticones térmicos (Dezeen, 2014)*

**Art Paper Museum, Shizuoka de Shigeru Ban**

*Porticones grandes exteriores de carácter translucido*

En su Museo de Papel en Shizuoka, Japón el arquitecto Shigeru Ban ha diseñado una piel translúcida de grandes porticones de GRL. El GRL es una abreviación de plásticos reforzados con fibras- un material translucido y de relativamente alta resistencia mecánica. Estos grandes porticones funcionan no solo como paramento dinámico que controla la relación con el exterior, sino también como protección solar. Los porticones pivotan en eje horizontal, hacia fuera del edificio con un ángulo de 90°, formando un voladizo de protección solar.

Este ATM es especialmente interesante por su gran escala, y sirve como referencia de cómo se puede utilizar el ATM para grandes superficies acristaladas. De hecho, este ATM no es una adición al acristalamiento, sino como una pantalla climática, controlando la relación entre el interior y el exterior.



*Fig. 27 Los porticones vista desde el exterior (Todas las imágenes y ilustraciones aquí son de filt3rs.net, 2013)*

Los paneles GRL son de altura de una planta y se pivotan hacia arriba y afuera del edificio por rieles mecánicos probablemente de acero galvanizado. El sistema se opera automáticamente, debido al peso de los porticones.

---

**Exterior – Rígido – Discontinuo**

---

**Bellevue Terrace de Philip Stejskal**

*Porticones exteriores pivotantes de carácter fragmentado*

Este proyecto en Fremantle, Australia incluye una extensión de una casa de 1890, revestida con tablones de madera blancos. Está equipada con porticones pivotantes y corredizos, bien integrados en la arquitectura del edificio. Una vez cerrados, armonizan bien con las paredes y parecen ser parte de ellas.



*Fig. 28 Cerrados, los paneles dan continuidad a la fachada. (Dezeen, 2014)*

En este caso, es dudoso que los paneles hayan sido incorporados con la intención de reducir pérdidas de calor, porque el arquitecto ha comentado que los paneles tienen la función de que el usuario puede controlar su interacción con el entorno inmediato. De todos modos, es un proyecto interesante debido a la manera de que se ha incorporado un filtro en la fachada, que en realidad funciona como un ATM.

Los paneles son compuestos por dos hojas, una piel exterior que se mezcla con el revestimiento de la fachada y una hoja interior que armoniza con el interior. No se sabe si los paneles tienen un corazón aislante, pero es dudoso porque si fuera el caso, lo habría mencionado. Son colgados por una estructura ligera que permite el movimiento pivotante y corredizo.



---

**Interior – Rígido – Continuo**

---

**Casa en Premià de Dalt de Enric Corbat***Porticones interiores corredizos con convección activa*

El arquitecto Enric Corbat trabaja actualmente como profesor en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Valles (ETSAV), enseñando el curso “Arquitectura Bioclimática”. El tema del ATM, para él, está lejos de ser desconocido- es un tema recurrente en sus clases. En su casa en Premià de Dalt, 25km norte de Barcelona se ha demostrado un ejemplo excelente del uso del aislamiento térmico móvil.



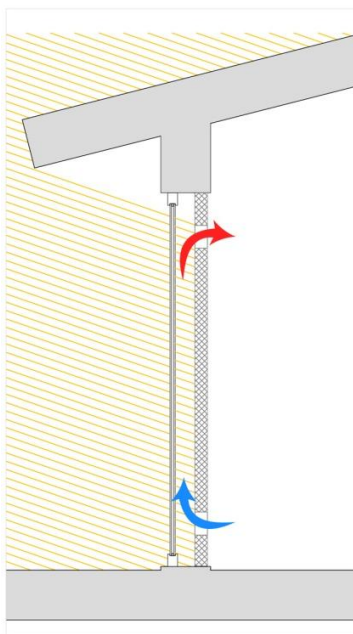
Fig. 29 Vivienda en Premià de Dalt, Enric Corbat

En la fachada sur se ha integrado grandes paneles corredizos de material polímero aislante con acabado plástico. Los paneles deslizan paralelamente a las grandes ventanas corredizas, cubriendo eficazmente o reemplazando toda la superficie acristalada. Además, se ha combinado la capacidad aislante de los paneles con un sistema de convección activa, convirtiéndolos en un tipo de sistema Trombe (sin inercia térmica).

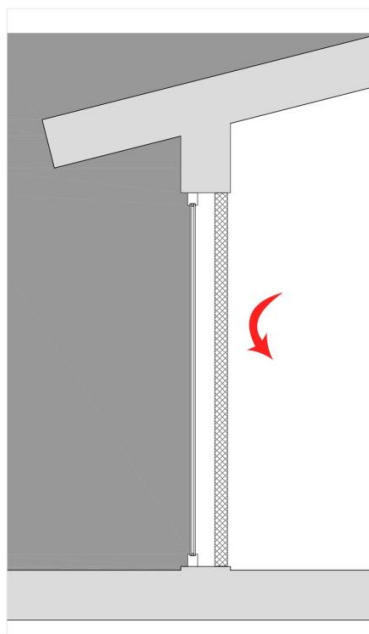
El color oscuro del panel hace que absorbe calor mientras calientan el aire entre el panel y el vidrio. Los pequeños aberturas practicables en la parte inferior y superior del panel permiten a este aire caliente crear un proceso de convección, calentando el aire más frío en el interior del edificio.

De esta manera, el sistema ATM es capaz de calentar el aire interior durante el día cuando la casa no está ocupada y evitar pérdidas durante la noche. Durante el verano cuando la casa no está ocupada se abre las ventanas y se dejan los paneles cerrados, asegurando la seguridad de anti intrusión mientras permiten la ventilación cruzada.

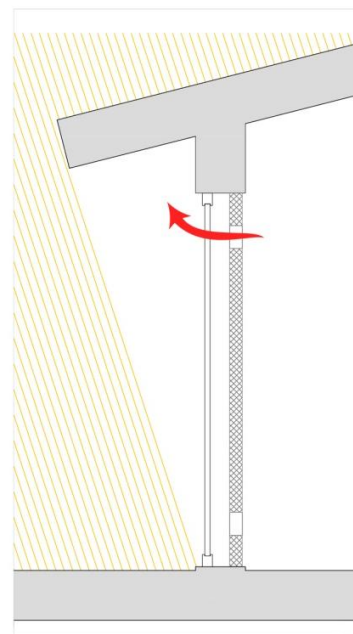


**INVIERNO - DÍA**

El ATM está activo, calentado el aire por convección

**INVIERNO - NOCHE**

El ATM está activo, evitando pérdidas por convección y aumentando la temperatura radiante

**VERANO - DÍA**

El alero bloquea la radiación solar. El ATM está activo, permitiendo ventilación y seguridad a intrusión

*(Elaboración propia)*

Esta invención ingeniosa representa un gran avance técnico del ATM obtenido por modificaciones sencillas y "low-tech". Por solo perforar los paneles en la parte superior e inferior, se ha conseguido evitar posibles problemas de condensación y se ha convertido el sistema ATM en un sistema de convección activa, dando aún más rendimiento al ATM.

Arquitectónicamente, el sistema está bien integrado, evitando parecer un elemento auxiliar "añadido", sino perteneciendo al edificio.

## Interior – Flexible - Continuo

---

### Viviendas en St. Nazaire de Lacaton & Vassal

#### *Cortinas interiores reflejantes*

El uso de ATM en este proyecto es interesante porque a diferencia de los otros que principalmente se enfocan en evitar pérdidas por conducción, se centra aquí en evitar pérdidas de calor solo por radiación. Sin ningún uso de aislamiento térmico, se pretende reducir las pérdidas por las cortinas con una capa reflejante integrada- actuando como barrera radiante.



*Fig. 30 Viviendas en St. Nazaire de Lacaton & Vassal (©Philippe Ruault)*

En realidad, esta capa tiene dos funciones: controlar la entrada de radiación solar por el verano y retener calor por el invierno. Aunque este sistema está lejos de ser tan eficaz como los sistemas que tienen integrado un aislante térmico, es una adición sencilla y económica que da control térmico en un edificio con mucha superficie acristalada.





*Fig. 31 Cortinas con hoja reflejante integrada (©Philippe Ruault)*

## 2.4.1 Resumen

El primer comentario es que cuando analizamos proyectos arquitectónicos con ATM incorporado, es el porticón que se ve con más frecuencia. Esto refuerza el argumento de que el porticón opaco como ATM es el que tiene más impacto como elemento de integración arquitectónica. Dicho en otras palabras, es el sistema con más posibilidades de expresión arquitectónica y con el que el diseño y adaptación es más libre.

Se puede categorizar los casos según muchos criterios medibles y no medibles como coste, peso, prestaciones térmicas esperadas, conveniencia, rigidez, diseño, etc. En la opinión del autor, los criterios más interesantes son prestaciones térmicas esperadas y coste de inversión. Aún más interesante es la relación entre ellos y por eso se presenta el siguiente cuadro comparativo indicando la relación entre los casos estudiados en términos de prestaciones esperadas/coste de inversión.

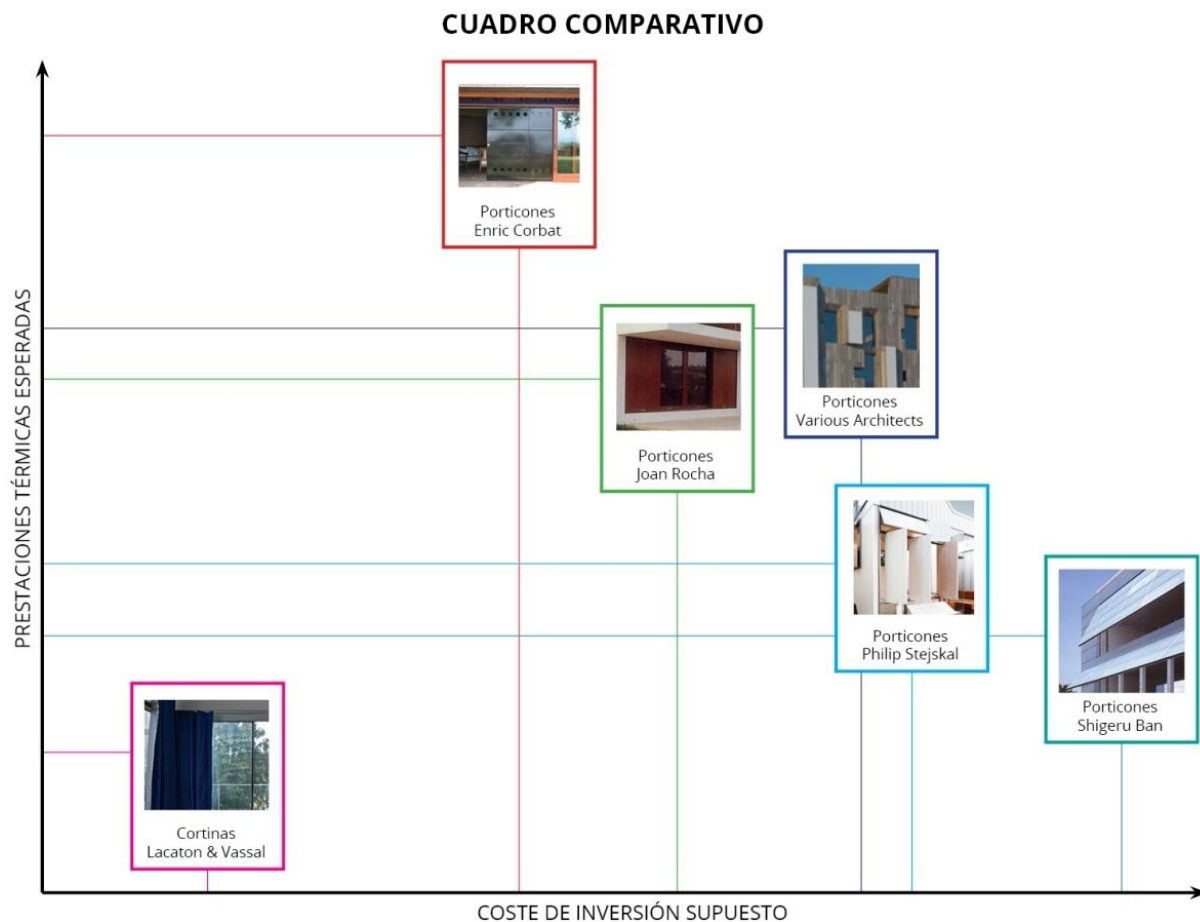


Fig. 32 La valorización del coste no es preciso y es sujeto en gran medida a la opinión del autor. Lo mismo vale para las prestaciones, aunque estas se basan también en los cálculos hechos en este trabajo junto con el estudio de prestaciones de distintos sistemas ATM, Evaluating window insulation for cold climates (Cold Climate Housing Research Center Alaska, 2011)

El coste es solo el coste de inversión, excluido coste de operación y mantenimiento. La prestación esperada se define como el impacto del sistema sobre la demanda de energía para calefacción en el edificio.

Por lo tanto el mejor sistema no es necesariamente el que se comporta mejor o cuesta menos solo, sino el que sale bien en ambas categorías.

Las cortinas de Lacaton & Vassal salen bastante mal paradas en términos de prestaciones porque se basan casi únicamente en la capacidad aislante frente a la radiación. Tienen poca capacidad aislante frente a conducción y tampoco se ha resuelto las juntas para que reduzcan la convección. Por otro lado, es un sistema relativamente económico, la cuál puede ser es un aspecto de igual importancia.

Los porticones de Shigeru Ban salen como el perdedor definitivo. Las prestaciones son también bajas porque los porticones de dos capas de plástico reforzados con fibras simplemente no aíslan tan bien. Además, se supone que los costes han sido altos por la enorme escala de los porticones así como el sistema de operación.

Los porticones de Philip Stejskal salen también bastante mal en términos de prestaciones/coste, primero porque los porticones presumiblemente no llevan aislamiento. Aunque agradable desde un punto de vista estético y que ofrece al usuario una gran flexibilidad y variación de configuración, el carácter fragmentado significa también aislamiento más discontinuo y más puentes térmicos por más ratio aislamiento/marco.

Los porticones de Joan Rocha y los de Various Architects se ponen bastante parecidos en el cuadro. Los dos son sistemas correderos de porticones opacos con aislamiento. A los de Rocha se dan un poco menos de prestaciones esperadas porque es evidente en el detalle que no se ha dado suficiente atención a la juntas perimetrales. Los de Various Architects se han puesto con un coste un poco más alto porque parecen más elaborados en términos de "diseño".

El ganador es en gran medida los porticones de Enric Corbat, que no solo reduce las pérdidas de calor por conducción, sino también calientan el aire interior por el sistema de convección activa. Además, se considera los costes como más bajos porque es un sistema interior, que permite al sistema ser más ligero y menos robusto.

## 2.5 PRODUCTOS COMERCIALES

Aquí se presenta algunos sistemas ATM que están disponibles en el mercado como productos comerciales. En el mercado ya existen muchos productos en distintas categorías y con diversos grados de rendimiento.

La mayoría de los fabricantes ofrece productos como sistemas completos incluyendo el ATM, componentes auxiliares y sistema de operación. Otros ofrecen solo el ATM, como es el caso normal con las cortinas térmicas. Algunos productos, están incluidos aquí aunque son principalmente sistemas de protección solar porque podrían funcionar muy bien como ATM solo con alteraciones mínimas en el sistema.

El Beadwall de Zomeworks ya no existe en el mercado, pero está incluido porque se distingue considerablemente de los otros sistemas y su concepto teórico se considera bien elaborado.

Los productos comerciales se clasifican según la misma categorización presentada en el capítulo 2.3, 'Categorización de los ATM'.

---

### Exterior – Rígido - Continuo

---

#### Porticones opacos de Tamluz

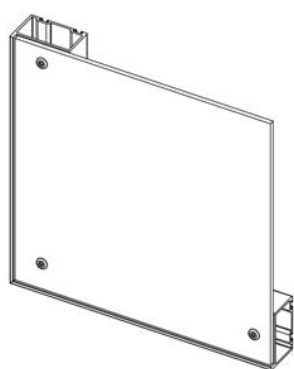
<http://www.tamluz.es/productos/P3-porticones-contraventanas-paneles-opacos.html>



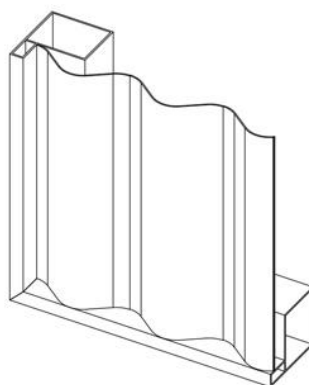
*Fig. 33 Todas las imágenes en esta sección pertenecen a tamluz.es*

Esta empresa barcelonesa ofrece una amplia variación de productos de protección solar, incluyendo el producto más interesante respecto al ATM: los porticones opacos. De hecho, no es un sistema ATM porque no tiene incorporado aislante térmico y está previsto principalmente como protección solar. Sin embargo, el sistema nos interesa porque su estructura y diseño permite tener incorporado un aislante térmico.

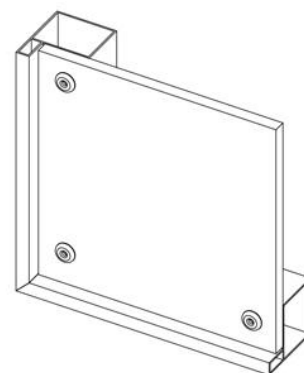




Full opaco



Full onda opaco



Panel HPL opaco

En realidad, es un sistema modular que se basa en bastidores de aluminio extruido con varias posibilidades respecto a los paneles, incluyendo chapa de aluminio, aluminio composite, zinc, cobre y HPL (High Pressure Laminate). El sistema de herrajes permite realizar contraventanas correderas, plegables, abatibles y el novedoso sistema de porticón con guía oculta.



Corredera



Plegable



Levadiza



Proyectable



Abatible

Fig. 34 Varias opciones de sistema de apertura

Aunque no está incluido en el catálogo general, el fabricante responde por correo que ya han hecho porticones de panel sándwich con aislamiento en el medio y que tienen disponibilidad para hacer soluciones personalizadas según solicitud. Aunque este sistema es principalmente un producto de protección solar, su amplio catálogo de sistemas de operación y diseño robusto lo hace muy apropiado como ATM. Por ejemplo sustituyendo los paneles macizos por paneles sándwich de tableros de madera con lana de roca dentro.

En realidad, estos porticones son una actualización moderna y de alta tecnología del porticón clásico, lo que en la opinión del autor es un buen concepto: se coge algo tradicional que ha pasado todas sus pruebas durante el tiempo y se hace mejor usando la tecnología disponible hoy en día.

## Exterior – Flexible – Discontinuo

### Persianas térmicas roller de Verolux

<http://www.verolux.info/web/en/products/profilipg>

Este producto fabricado por el fabricante italiano Verolux es un sistema roller de lamas robustas para uso exterior. El sistema se basa en lamas de aluminio con relleno de espuma de poliuretano: el aluminio funciona como estructura y el poliuretano da capacidad aislante. El sistema roller es interesante porque el sistema entero, en posición cerrada puede ser almacenado en un tambor, oculto dentro del edificio. Esto significa también que el sistema no requiere ningún espacio libre alrededor de la ventana.



Fig. 35 Sistema de operación y las lamas con relleno de espuma de poliuretano (Verolux, 2011)

Aunque este producto en principio es un sistema de puertas para garajes, es interesante por su concepto y funcionamiento. A pesar de que es un sistema de puerta de garaje, no significa que no se puede usar como ATM a los acristalamientos. La utilización de componentes industriales en la edificación es algo no solo animado por la ETSAB (Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona), sino también algo ampliamente adoptado por arquitectos, como por ejemplo Jean Nouvel en su proyecto *Nemasus*, Lacaton & Vassal en casi todos sus proyectos, etc. En su Museo de Papel en Shizuoka, Japón, presentado en este capítulo, el arquitecto Shigeru Ban usa un tipo de ATM en forma de paneles enormes de GRP que se basan en un sistema pivotante, usado comúnmente en puertas de garaje y naves industriales.



Fig. 36 El sistema como puerta de garaje (Archiproducts)



## Interior – Flexible – Continuo

### Cortinas térmicas

En el mundo de ATM, las cortinas han sido renombradas como “cortinas térmicas”, ya que no se habla de cortinas normales, sino cortinas optimizadas para reducir pérdidas de calor. Aunque parecerán cortinas normales en el exterior, el interior de las cortinas es de carácter más complejo. Se basan normalmente en una estructura de varias hojas, cada una con una función distinta.

En este campo hay muchos fabricantes ofreciendo más o menos el mismo producto, así no hay razón para destacar fabricantes específicos.

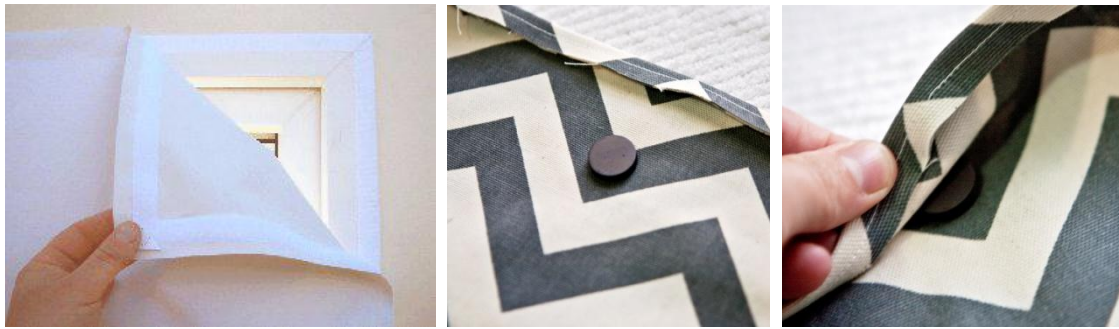


Fig. 37 Las cortinas térmicas. A la derecha, su composición interior. (artwithanrvalue.com, 2015)

En la ilustración arriba se ve una típica composición, empezando con una hoja decorativa hacia el interior (1). Detrás de esta primera hoja se encuentra una hoja compuesta de mylar metálico y fibras de poliéster (2). Esta hoja tiene dos funciones: el mylar refleja y devuelve el calor radiante hacia el interior mientras que el poliéster actúa como aislante, atrapando aire en bolsillos dentro del material. La hoja 3 es una barrera de vapor, incorporada con el objetivo de ralentizar el flujo de humedad hacia el vidrio, que podría provocar condensaciones. La cuarta capa tiene estrictamente función aislante. El quinto es otra barrera de vapor, la última antes del vidrio.

Las cortinas térmicas con su estructura de capas son una solución interesante. Sin embargo, depende mucho del sellado de las juntas perimetrales, que tienen que estar bien resueltas para asegurar la no presencia de convecciones no deseadas en el espacio entre la cortina y el vidrio. Con referencia específica a las cortinas, Shurcliff (1980, p.42), discute la posibilidad de que cortinas mal instaladas pueden, de hecho, aumentar las pérdidas de calor por convección por estimular el efecto chimenea en el espacio creado entre las cortinas y el vidrio.

Generalmente, las juntas perimetrales son más difíciles de resolver con componentes suaves como las cortinas, que con elementos rígidos como los porticones. Se deduce pues que las cortinas requieren atención especial a las juntas. Normalmente, se resuelve las juntas perimetrales por grapas, velcro o magnetos, como se puede ver en las imágenes abajo.



*Fig. 38 Resolviendo las juntas con velcro o magnetos (blackoutcurtainfabric, 2015)*

Aunque, la composición compuesta de las cortinas térmicas es un buen enfoque, son todavía cortinas y térmicamente están entre los sistemas de peor rendimiento. Por otro lado, se hacen atractivas por su precio económico y facilidad de instalación. De hecho, las dos imágenes a la izquierda arriba son de un blog “do-it-yourself”, mostrando que se puede hacerse sus propias cortinas térmicas.

## Interior - Flexible - Discontinuo

La persiana térmica se considera un sistema ATM ligero. Normalmente, estos sistemas se basan solamente en un material relativamente impermeable y juntas bien selladas para atrapar y aprovechar bolsillos y cámaras de aire como aislante. Comparado con sistemas más pesados son relativamente económicos y fáciles de instalar- tanto en edificios nuevos como en antiguos. La ligereza significa también que estos sistemas pueden ser manejados con relativamente poco esfuerzo. Si es de forma automática, significa que el sistema puede operarse con poca energía.

Otra ventaja es que están disponibles con materiales y colores con alta translucidez, permitiendo más entrada de luz y contacto con el exterior- aún cuando las persianas están bajadas. Es claro que no aíslan tan bien como los sistemas de panel opaco que aprovechan la cámara de aire entre sí el vidrio tanto como la capacidad aislante del material. Sin embargo, por su precio y amplia disponibilidad es una buena solución.

### Persianas celulares aislantes de EcoSmart

<http://www.ecosmartis.com/index.html>

Ecosmart es un sistema de persiana celular aislantes de forma panal. Las persianas son del material "EcoSmart Fabric", un tejido apretado de fibras de poliéster, asegurando que las persianas son relativamente impermeables al aire. La capacidad aislante del sistema no se basa en material por sí mismo, sino por el aire atrapado entre la persiana y el vidrio. Además, la estructura celular del material, atrapa bolsillos de aire dentro de la persiana, dando capacidad aislante adicional.

Para asegurar la hermeticidad se he tenido bastante atención a las juntas. Según el fabricante, su sistema de rieles en los lados es lo que por gran parte asegura esta hermeticidad y se declara que estos rieles aumentan la resistencia térmica del sistema con 17%.

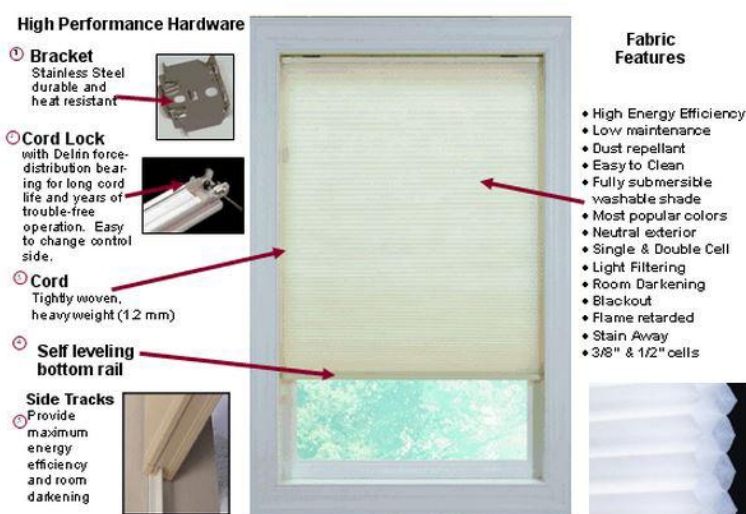


Fig. 39 Como funciona el sistema. (Todas las ilustraciones e imágenes en esta sección pertenecen a EcoSmart Insulating Shadestm.)



Fig. 40 El funcionamiento de los rieles (Ecosmart)

Reclaman que la persiana de mejor rendimiento opera con una resistencia térmica (valor R), de  $4,6 \text{ h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}/\text{Btu}$ , que convertido a unidades de estándar internacional (SI) es  $0,81 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ . Sabiendo que el valor U es el inverso a la resistencia térmica, nos da un valor U de  $1,23 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Se dice que, en el clima de Washington DC, esta misma persiana tiene un tiempo de amortización de 4,5 años.

### **Persianas celulares aislantes Duette Architella de Hunter Douglas**

<http://www.hunterdouglas.com/honeycomb-shades/duette-architella>

Este producto es, como el anterior también de forma celular y se basa en el mismo principio de atrapar el aire entre si y el vidrio tanto como en el material por sí mismo. Sin embargo, como que Hunter Douglas es una empresa multinacional de productos de ventanas, el catalogo de este producto es más elaborado. Hay más opciones en material, color, tamaño y orientación así que varios tipos estructuras celulares de las persianas.



Fig. 41 (Todas las ilustraciones y imágenes en esta sección pertenecen a DUETTE® ARCHITELLA® de Hunter Douglas ©)



El nombre del patente celular es *Architella* y respecto al EcoSmart, tiene más separaciones de hojas en el interior, dando más bolsillos de aire y últimamente, más alta capacidad aislante. Abajo se ven las distintas estructuras celulares.



Como mencionado anteriormente, este producto tiene un catálogo mucho más elaborado, incluyendo soluciones para formas irregulares, tamaños grandes y varios grados de translucidez. Viene también con varias opciones de operación. La opción más automatizada es un sistema totalmente automático, dando la posibilidad de controlarlo todo con tu móvil o ipad, o hacer horarios personalizados.

En general, este producto parece tener un catálogo muy bien elaborado, y ofrece una amplia y flexible variedad de soluciones.

### Aislamiento entre acristalamiento, Beadwall de Zomeworks

<http://www.zomeworks.com/about-us/>

[https://www.youtube.com/watch?v=iRZwAhw1\\_rA](https://www.youtube.com/watch?v=iRZwAhw1_rA)

Este sistema peculiar fue desarrollado durante la crisis de petróleo en los años 70, cuando el alto precio de petróleo causaba una alta consciencia pública sobre el ahorro energético.

El sistema se basa en un doble acristalamiento con al menos 6,35cm de distancia entre los paneles de vidrio. La cámara entre los paneles se rellena con cuentas de poliestireno expandido, formando temporalmente un paramento de relativamente alta resistencia térmica.

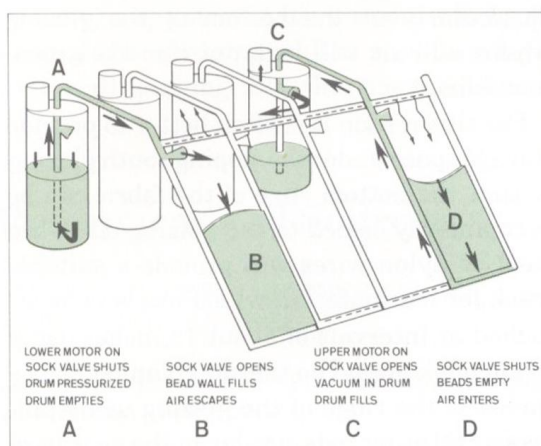


Fig. 42 Como funciona el sistema Beadwall (plantandgardens.com, 2015)

El acristalamiento está vinculado con un tubo de PVC a un tanque de almacenamiento de las cuentas. El acristalamiento se rellena cuando la bomba crea un vacío, que succiona las cuentas de poliestireno dentro de la cámara desde la parte superior. Cuando este ciclo se invierte, la bomba crea una succión del acristalamiento al tanque, sacando las cuentas y vaciando el acristalamiento. Por la naturaleza de las cuentas, son capaces de amoldarse a cualquier forma, incluso formas curvadas.

El sistema fue originalmente diseñado para invernaderos pero tienen el mismo funcionamiento para otros edificios: la capacidad de dejar entrar el sol durante el día y rellenar el acristalamiento durante la noche para retener el calor.



Fig. 43 Las cuentas rellenan la cámara entre los paneles de vidrio (commonwealthsolar.com, 2015)

Para uso en casas, tiene otras ventajas respecto a filtración de luz, vistas y privacidad. Porque se rellena de la parte inferior y hacia arriba, se puede también relleno por la mitad, mejorando el rendimiento térmico y dando privacidad, pero al mismo tiempo dejando entrar la luz natural. Si se para el proceso de relleno justo antes de que la cámara se rellene totalmente, se puede conseguir mejor rendimiento térmico, privacidad y también algo de luz natural.

El rendimiento térmico concreto no queda tan claro. Según *commonwealthsolar.com*, el sistema opera con una resistencia térmica de  $1,93 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ <sup>13</sup> o bien un valor U de  $0,51 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . Según Langdon (1980), la resistencia térmica es de  $1,76 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ <sup>14</sup> o bien un valor U de  $0,57 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ . De todos modos, ambos valores son muy satisfactorios.

Aunque el concepto está muy bien en teoría, este patente nunca tuvo mucho-éxito comercial- probablemente por su complejidad técnica, coste de inversión y mantenimiento relativamente alto.

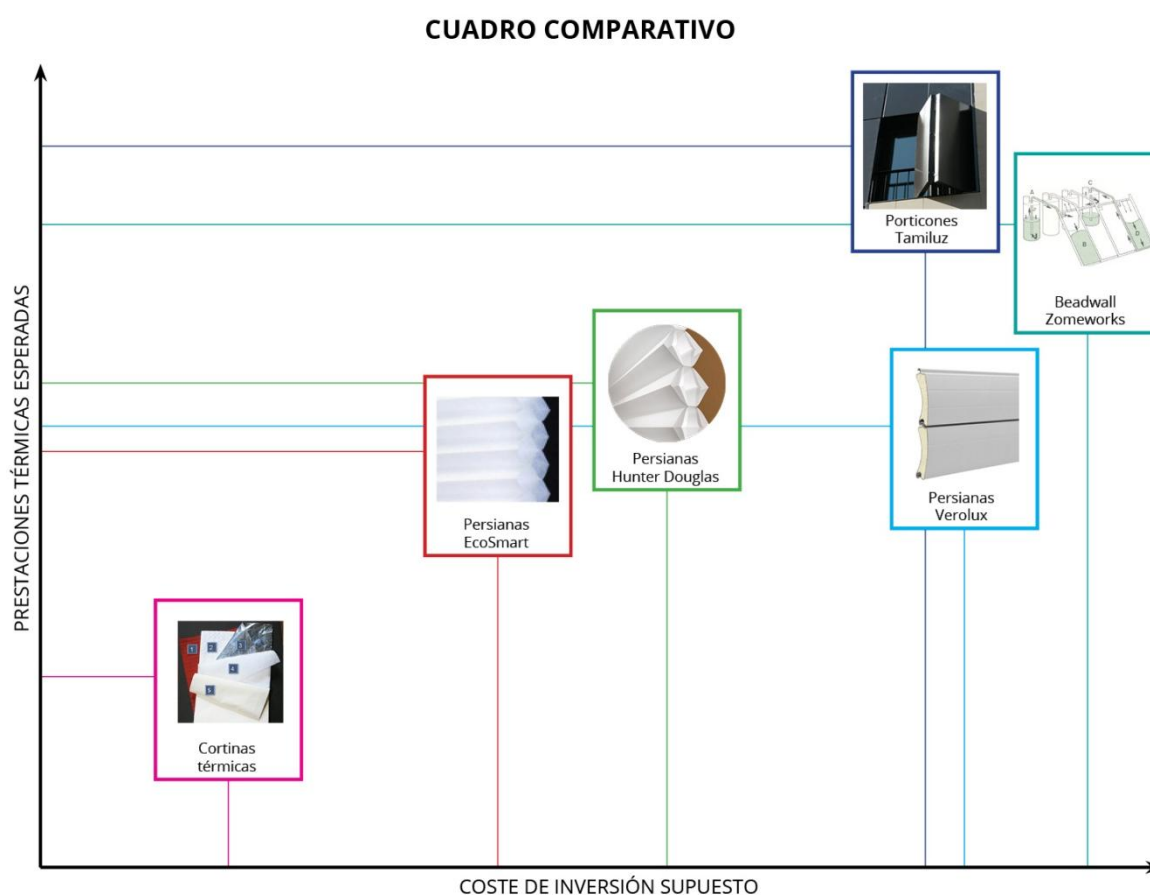
13 Resistencia térmica indicado:  $11 \text{ h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$ . Factor conversión de  $\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$  a  $\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ : 0,1761

14 Resistencia térmica indicado:  $10 \text{ h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$ . Factor conversión de  $\text{h}\cdot\text{ft}^2\cdot^\circ\text{F}/\text{Btu}$  a  $\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ : 0,1761

## 2.5.1 Resumen

Los productos comerciales representan una gran variación respecto a factores medibles y no medibles como coste, peso, prestaciones térmicas esperadas, conveniencia, rigidez, diseño, etc.

Las persianas celulares interiores parecen ser el producto ATM más completo, ofreciendo un paquete totalmente preparado para instalar. Las persianas celulares de Hunter Douglas vienen también con un sistema de operación totalmente automático y programable- incluso con la opción de controlarlo desde el móvil. Algunos sistemas son principalmente sistemas de protección solar, pero funcionan también muy bien como ATM con modificaciones mínimas. En el caso de los porticones opacos de Tamiluz, el fabricante indica por correo que ya han hecho porticones de panel sándwich con aislamiento de espuma en medio. Volviendo al tema prestaciones esperadas/coste de inversión se presenta el siguiente cuadro:



(Elaboración propia)

Fig. 44 La valorización del coste y no es preciso y es sujeto por gran medida a la opinión del autor. Lo mismo vale para las prestaciones, aunque ellas se basan también en los cálculos hechos en este trabajo junto con el estudio de prestaciones de distintos sistemas ATM, *Evaluating window insulation for cold climates*, realizado por Cold Climate Housing Research Center (Alaska, 2011).

El coste es solo el coste de inversión, excluido coste de operación y mantenimiento. La prestación esperada se define como el impacto del sistema sobre la demanda de energía para calefacción en el edificio.

Las cortinas salen como el perdedor en términos de prestaciones, aunque tienen la

ventaja de ser relativamente más económicas. Su sistema es además tan sencillo de aplicar que es factible hacerse sus propias cortinas (aunque exige ciertos conocimientos sobre los ATM). Una gran desventaja de las cortinas como producto comercial es que siempre hay dudas sobre las juntas: los fabricantes normalmente ofrecen solo las cortinas sin sistemas para resolver las juntas.

Las persianas celulares interiores salen de hecho mejor paradas estrictamente en términos prestaciones/precio. Se supone que las persianas de Hunter Douglas tienen prestaciones un poco por encima de las de EcoSmart porque la estructura celular del material está un poco más desarrollada. Tiene un poco más grosor y el material tiene más bolsillos de aire, dando mejor capacidad aislante. Por otro lado se las considera un poco más costoso porque son más elaboradas en términos de diseño y porque sus sistemas de operación son más complejos.

Las persianas exteriores aisladas de Verolux, considerado un sistema costoso, no suben tanto en prestaciones: aunque tienen aislante térmico integrado en las lamas y se supone que es un sistema bastante hermético, este aislamiento es de carácter muy discontinuo. Además, las lamas de acero o aluminio representan puentes térmicos.

El Beadwall es el ganador definitivo en dos categorías no mensurables: ¡Creatividad y Peculiaridad! Las prestaciones son muy satisfactorias también, el problema es el sistema de operación que, aparte de llevar altas costes de inversión, llevará supuestamente altas costes de operación y mantenimiento. Los porticones podrán ser mantenidos por un operador ordinario, mientras el Beadwall requerirá personal cualificado con conocimientos no solo sobre componentes mecánicos, sino también sobre la mecánica fluida en relación con el sistema de vacío que controla el flujo de las cuentas entre los paneles de vidrio.

En términos de prestaciones esperadas se considera los porticones como los mejores. Esto es porque pueden llevar placas de aislante continuos con bastante grosor, sin puentes térmicos significativos y que se aprovecharán de la cámara de aire entre el ATM y el vidrio. Se le considera como un sistema costoso, pero por otro lado es un sistema que facilita el mantenimiento y sustitución de componentes, alargando su vida útil.

Finalmente, los sistemas de porticones son los que tienen normalmente más potencial para doblar como protección solar y tiene más esfuerzo como elemento de integración arquitectónica.



## 2.5.2 Aislamientos Translucidos (TIM)

### Aislamientos Translucidos (TIM)

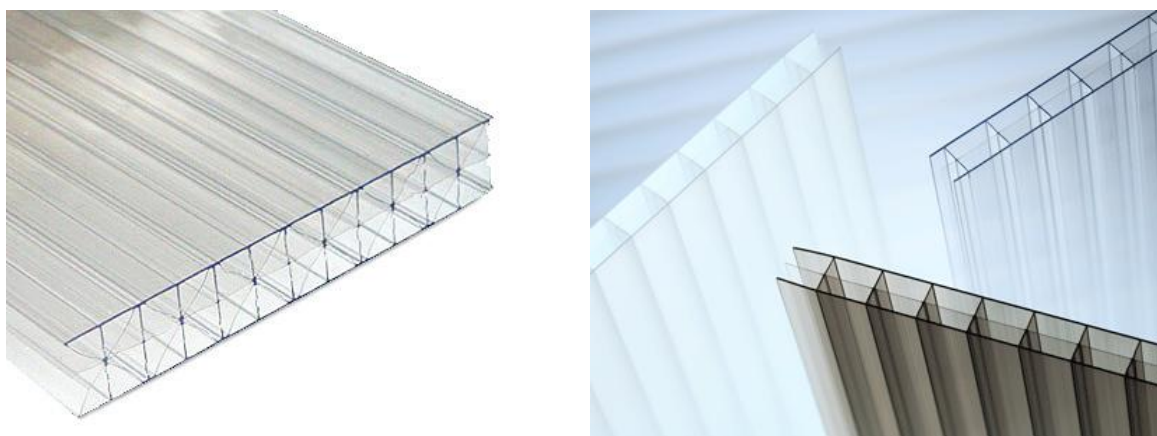
Un aislamiento translucido o TIM es un material que tiene características aislantes combinado con características translucidas. Estas características dependen del material y de su estructura, espesor, calidad y uniformidad. El material más “extremo” de los TIM, en términos de rendimiento, el Aerogel de Sílice tiene una conductividad térmica de  $0,004 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (en vacío<sup>15</sup>) y una transmitancia solar total de más de 75% cuando está integrado en un acristalamiento<sup>16</sup>.

Una de las desventajas de los ATM con aislantes opacos es su falta de transparencia a la radiación que omite totalmente la transmisión de luz natural y calor solar. Si podemos añadir la translucidez como propiedad al ATM, podemos expandir su horario de operación para incluir horas del día también. Esto es especialmente aplicable a fachadas no captadoras donde el ATM puede estar activado también durante el día o por periodos de tiempo más largos. En este sentido, la combinación de la baja conductividad térmica y alta transmisión de luz visible hace a los materiales TIM relevantes con respecto al ATM.

Los TIM consisten típicamente de vidrios o polímeros con una estructura panal o capilar. De esta manera se aprovecha las propiedades translucidas del material mientras que se encapsula bolsillos de aire que dan la capacidad aislante. Existen varias categorías de TIM, algunos son:

### **Polycarbonato celular**

Este producto es muy interesante en el campo de los ATM por su combinación de peso ligero, capacidad aislante y transmitancia de luz visible relativamente alta.



*Fig. 45 Distintos tipos de polycarbonato celular (Bayer, 2015)*

<sup>15</sup> (Wikipedia, 2015) *Aerogel*

<sup>16</sup> (Cinzia Buratti, 2011)

Bayer, un fabricante alemán de paneles de policarbonato celular dispone de paneles de 5 hojas con valor  $u$  de  $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  y factor  $g$  (transmisión total de energía solar) alrededor de 47%. (Bayer MaterialScience, 2015)

Otro fabricante español, Irfen S.A.U. ofrece paneles de diez hojas con valor  $U$  de  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  con un espesor de 50mm y un peso de solo  $4,5 \text{ kg/m}^2$  (Irfen S.A.U, 2015). Este fabricante no provee datos sobre la transmisión de energía solar y luz, pero se supone que es inferior a los paneles de Bayer porque hay más capas de policarbonato añadido lo que reduce la transmisión. Brett Martin, otro fabricante inglés también anuncia que sus paneles ofrecen valores  $U$  de hasta  $0,83 \text{ W/m}^2\text{K}$  (Brett Martin Plastic Sheets, 2015).

La capacidad aislante de los paneles de policarbonato no es proporcionada por el material por sí mismo sino por los cámaras de aire encapsulado en la estructura celular. La estructura celular también provee otra característica importante: resistencia mecánica. Según Tectonica-online los paneles Makrolon de Bayer ofrecen una resistencia de mecánica de impacto hasta 250 veces mejor que una hoja de vidrio de mismo espesor (Tectonica, 2015). La combinación de esta resistencia mecánica excelente y su propio peso de solo  $4,5 \text{ kg/m}^2$  lo hace muy apropiado para los sistemas de ATM. A los conocimientos del autor el límite inferior del valor  $U$  de los paneles de policarbonato parece ser alrededor de  $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , así que falta un poco hasta que pueden competir directamente con otros aislantes térmicos. Sin embargo, la suma de sus propiedades térmicas, ópticas y mecánicas lo pone en el centro de atención con respecto a los ATM.

### **Aerogel Monolítico de Sílice**

El material TIM quizás más interesante es el Aerogel Monolítico de Sílice, también conocido solo como Aerogel. Según Bahaj (2008), se presenta el material a menudo como el “santo grial” de los acristalamientos en el futuro, ofreciendo el potencial de conseguir valores  $U_g$  tan bajo como  $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ , tanto como transmitancia de energía solar y luz visible hasta 90%. Parece un sueño imposible, pero los resultados preliminares de varias investigaciones en el campo dicen lo contrario.

El Aerogel de sílice es un material muy poroso con diámetro de los poros entre 10-100 nm. Es uno de los sólidos con la densidad más bajo en el mundo y consiste de 99,8%<sup>17</sup> aire y es químicamente parecido al vidrio. La porosidad es más de 90%, que combinado el tamaño nano de los poros lo hace un aislante excelente con una conductividad térmica inferior al aire. La conductividad térmica varía entre  $0,004 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (en vacío) y  $0,013 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (en la presión atmosférica). De hecho, aísla tan bien que puede proteger una mano humana del calor de un soplete a quemarropa.

Además, aparte de la conductividad térmica baja, provee alta transmisión de energía solar y luz visible. Sus propiedades aislantes y su punto de fusión a  $1,200 \text{ }^\circ\text{C}$  lo hace también un material ignífugo excelente.

---

<sup>17</sup> (HILIT, Super insulating silica aerogel glazing, 2005)





# **03** EL POTENCIAL DEL ATM

*El potencial del ATM como componente en la edificación*

## 3.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo nace de la necesidad de aumentar el interés hacia un componente del edificio que parece tener relativamente poca atención en la arquitectura contemporánea. Aislamientos térmicos móviles en forma de porticones o cortinas pesadas han sido utilizados en edificios desde hace siglos. Han sido medidas reactivas a la incomodidad térmica interior causada por la tecnología de construcción primitiva usada en edificios antiguos- ya sea paredes no aisladas o ventanas con fugas y acristalamiento simple.

Con la revolución tecnológica al final del siglo XX el rendimiento térmico de los envolventes de los edificios se ha mejorado considerablemente y la combinación con nuevas formas de calefacción más económicas ha resultado en que estas medidas reactivas se ven con menos frecuencia.

El paradigma arquitectónico en el siglo XXI ha sido caracterizado por una consciencia percibida elevada de la sostenibilidad. El rendimiento energético de los componentes de construcción ha sido mejorado considerablemente. Sin embargo, aún con la revolución tecnológica de las ventanas, estas siguen sin ser térmicamente comparables con las paredes opacas, operando con coeficientes de transferencia de calor hasta 20 veces peor.

No mejora el hecho de que la proporción promedio de superficie acristalada es mucho más alta en la arquitectura moderna que antes. En la arquitectura contemporánea parece que la tendencia es que los edificios sean menos adaptados al clima preexistente que durante los siglos anteriores. Cuando se ve edificios de oficinas casi idénticos en Dubái y Oslo, da la sensación de que siglos de adaptaciones bioclimáticas no han servido para nada.

Un edificio normal pierde entre el 25 y el 30 % del calor total a través del acristalamiento. Aunque el acristalamiento moderno es capaz de aislar considerablemente mejor que hace 20 años, es un hecho que, comparado con una pared opaca de la misma superficie, todos los tipos de acristalamiento son aislantes malos. La proporción de las pérdidas por ventanas respecto al balance total del edificio no se cambia tanto entre edificios convencionales y edificios de estándar pasivo. Como se ve en Fig. 46, en edificios típicos de estándar pasivo en Noruega, las pérdidas de calor por aberturas constituyen unos 26% para edificios de apartamentos y 31% para oficinas.

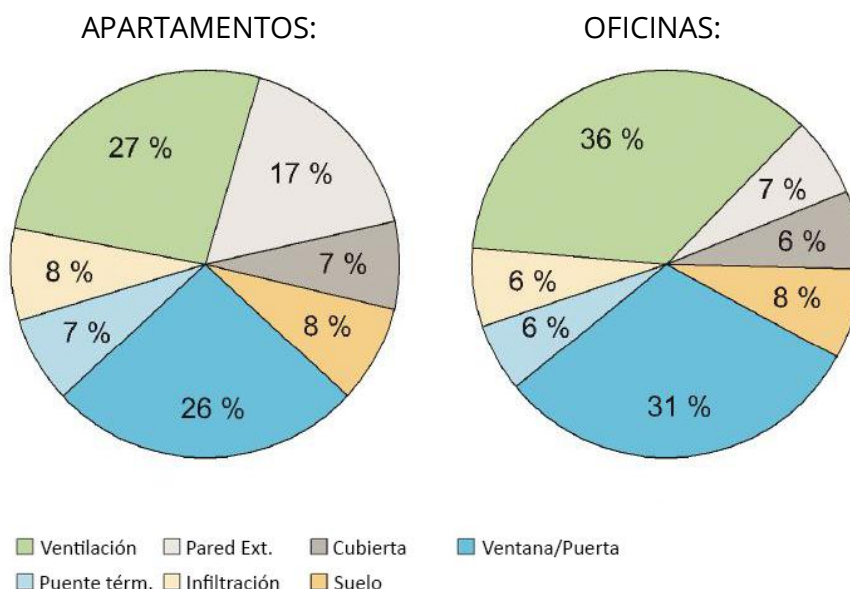


Fig. 46 Ejemplo de distribución de pérdidas de calor para un edificio de apartamentos y uno de oficinas con estándar de casa pasiva en Noruega. Porcentaje de pérdidas a través de partes del edificio, por infiltración y ventilación. (SINTEF-Byggforsk, 2014)

En edificios más antiguos el porcentaje de pérdidas por las aberturas es más o menos el mismo, pero como que las pérdidas totales son considerablemente más grandes, las pérdidas por aberturas son también mucho más grandes. La cantidad de pérdidas depende naturalmente del tamaño, forma y categoría del edificio.

En fachadas con grandes superficies acristaladas el porcentaje puede llegar a unos 50% de las pérdidas totales. Cuando somos conscientes que las pérdidas por las aberturas normalmente constituyen alrededor de un tercio de las pérdidas totales, es claro que el ATM representa un gran potencial de mejora.

Las ventanas son débiles porque operan con una transferencia de calor o conductividad térmica alta. Por ejemplo, una ventana típica moderna en Noruega de doble vidrio con cámara de argón y capa bajo emisiva tiene un valor  $U_w$  de  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  mientras que una pared opaca típica opera con un valor  $U$  de  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Significa que la ventana conduce 10 veces más calor que la superficie de pared opaca de la misma superficie. El material ideal para acristalamiento debería ser tan transparente como el vidrio y aislar tanto como la pared. Desafortunadamente, tal material no existe.

En el hemisferio norte, durante el invierno, los días son cortos, las temperaturas más bajas y la radiación solar poca intensa. Generalmente, las ventanas nos benefician solo durante las horas de luz- durante las horas de oscuridad, constituyen una fuente constante de pérdidas de calor.

Con el ATM se puede cambiar este ritmo: se cubren los huecos durante la noche cuando las pérdidas de calor son mayores y se quita el ATM durante el día cuando el paso de luz y calor es favorable. El ATM es una herramienta capaz de modificar temporalmente la conductividad térmica de las ventanas, acercándola más a la de las paredes.

El potencial del aislamiento térmico móvil radica en sus pruebas históricas además de la sencillez de su concepto básico. En vez de añadir más capas del mismo material para mejorar el comportamiento térmico de la ventana, se añade una capa simple de otro

material durante algunas horas del día, obteniendo resultados iguales o mejores ya que no se reduce la penetración de luz y calor a través de las ventanas.

En teoría, el ATM puede ser incorporado en cualquier tipo de edificio y a cualquier tipo de ventana, muro cortina o claraboya. En el caso de la claraboya el ATM tendrá más impacto que en acristalamientos verticales ya que el calor, por su naturaleza, sube y las pérdidas de calor son mayores en claraboyas y acristalamientos horizontales.

Respecto a la aplicación, el ATM es especialmente interesante en relación con los sistemas indirectos de calefacción pasiva, como el muro Trombe. En estos sistemas, el calor solar es absorbido por elementos de inercia térmica para ser emitido durante el tiempo del día más frío. Este calor se emite por radiación y a parte del calor que está irradiado hacia dentro del edificio, gran parte de este calor será irradiada hacia el exterior. Incorpora un ATM se ralentiza drásticamente este escape de calor no deseado.

Los capítulos 04 y 05 se van a dedicar a cálculos y simulaciones con el objetivo de demostrar el potencial del ATM en términos medibles. Hablando del potencial del ATM en términos térmicos, se centra en tres aspectos principales:

- Valor U, medido en  $W/m^2K$
- Balance ganancias solares/pérdidas de calor, medido en  $kWh/m^2$  año
- Demanda de calefacción, medido en  $kWh/m^2$  año

En dichos capítulos se presentarán los resultados obtenidos usando métodos de cálculo apropiados para simular cuánto podría un ATM afectar a estos valores.



## 3.2 EL POTENCIAL

Aunque la ventaja quizás más obvia del ATM es su potencial de reducir pérdidas de calor por transmisión, tiene otras ventajas importantes que se intentará demostrar a lo largo de este capítulo. El potencial y ventajas principales están resumidos abajo. En teoría, un ATM es capaz de:

### En términos de equilibrio energético

- Reducir pérdidas de calor por transmisión a través de tanto el acristalamiento como del marco (sin reducir el factor solar)
- Reducir pérdidas de calor por convección
- Reducir pérdidas de calor por infiltración de aire (especialmente en edificios más antiguos)
- Reducir pérdidas de calor por radiación
- Servir efectivamente como protección solar
- Añadir resistencia térmica a las ventanas durante el verano, manteniendo el espacio interior más fresco

### En términos de temperatura de confort

- Aumentar la temperatura de confort en el interior por aumentar la temperatura radiante media de las superficies acristaladas
- Aumentar la temperatura de confort por reducir la convección en las ventanas. (La velocidad del aire en el interior es un factor en el cálculo de temperatura de confort)

### Prácticamente

- Justificar el uso excesivo de fachadas acristaladas en edificios ubicados en climas fríos.
- Proteger y prolongar sustancialmente la vida útil de la propia ventana. (Si está colocado en el exterior del envolvente, especialmente efectivo en climas duros)
- Añadir seguridad frente a intrusiones

### Económicamente

- Reducir los gastos de calefacción y refrigeración
- Ser una alternativa más económica que los acristalamientos de alto rendimiento, en términos de coste de inversión y ahorro energético.
- Ser una alternativa más económica que cambiar las ventanas en rehabilitaciones energéticas

### **Arquitectónicamente**

- Añadir valor arquitectónico como elemento integrado. (Tanto en edificios nuevos como en existentes.)
- Ser una alternativa de valor histórico en rehabilitaciones energéticas. (Cambiar la carpintería en edificios antiguos podría arriesgar su valor histórico. Un ATM puede ser incorporado en el interior de la fachada, mejorando considerablemente el rendimiento energético dejando la fachada exterior intacta.)

Seguramente, hay más ventajas de un sistema ATM. Sin embargo, las listadas aquí son las que se consideran las más relevantes. Se encuentra más información sobre el potencial del ATM en el capítulo “Consideraciones en el diseño de un ATM”

### 3.3 LOS FACTORES PRINCIPALES QUE DIRIGEN EL IMPACTO DEL ATM

El impacto de un ATM no es algo predeterminado sino sujeto a cambios según varios factores. Las condiciones más básicas y más importantes se basan en la ecuación simplificada de transferencia calor:

$$H_t = UAdt$$

Donde:

U = Valor U (W/m<sup>2</sup>K)

A = superficie de acristalamiento (m<sup>2</sup>)

dt = diferencia temperatura interior-exterior (K)

Las condiciones básicas que determinan las pérdidas de calor por ventanas son, entonces el valor U, la superficie acristalada y la diferencia entre la temperatura interior y exterior. Teniendo esto en cuenta se defina en los siguientes subcapítulos los factores más importantes que dirigen al impacto del ATM.

---

#### 3.3.1 Clima

---

Respecto a la diferencia entre temperatura interior y exterior, el factor más relevante es el clima en el que está el edificio. La temperatura de confort interior es más o menos la misma en cada parte del mundo, mientras que la temperatura exterior es la que crea fluctuación en la diferencia.

En teoría, cuanto más frío el clima, más grande será el impacto del ATM. El efecto de un ATM aplicado en una ventana en Oslo es probablemente mucho notable que si fuera aplicado en la misma ventana en Barcelona. La tabla inferior muestra exactamente esto, en términos de balance ganancias solares/pérdidas para varias ciudades en los estados unidos. El balance ganancias/pérdidas es una medida relevante porque más que solo las pérdidas, se considera también las ganancias solares por las ventanas.

En términos de valores reales, esta información, del libro "Movable Insulation" (Langdon, 1980) son anticuados porque la tecnología del acristalamiento se ha evolucionado drásticamente desde 1980. Sin embargo, la relación entre las posiciones geográficas nos da una idea. Se ve que el balance ganancias/pérdidas se varía drásticamente según la zona climática en que esta el edificio.

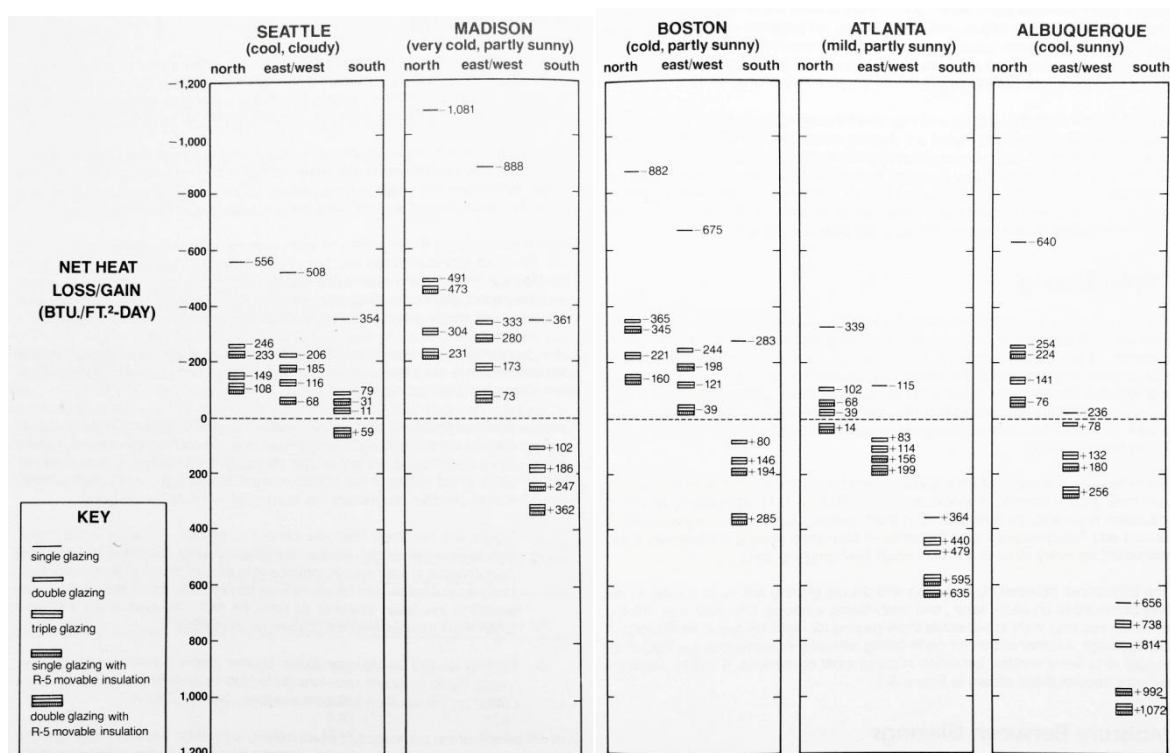


Fig. 47 Tabla mostrando el impacto de los mismos sistemas en ubicaciones geográficas distintas (Langdon, 1980)

En el mapa inferior se ve las zonas climáticas en una escala global, según el Passivhaus Institut. El ATM tiene más influencia en condiciones de temperaturas bajas y poca radiación solar. Como resultado, tiene más potencial en las zonas climáticas "Arctic", "Cold" y "Cool, Temperate"- en orden descendente.

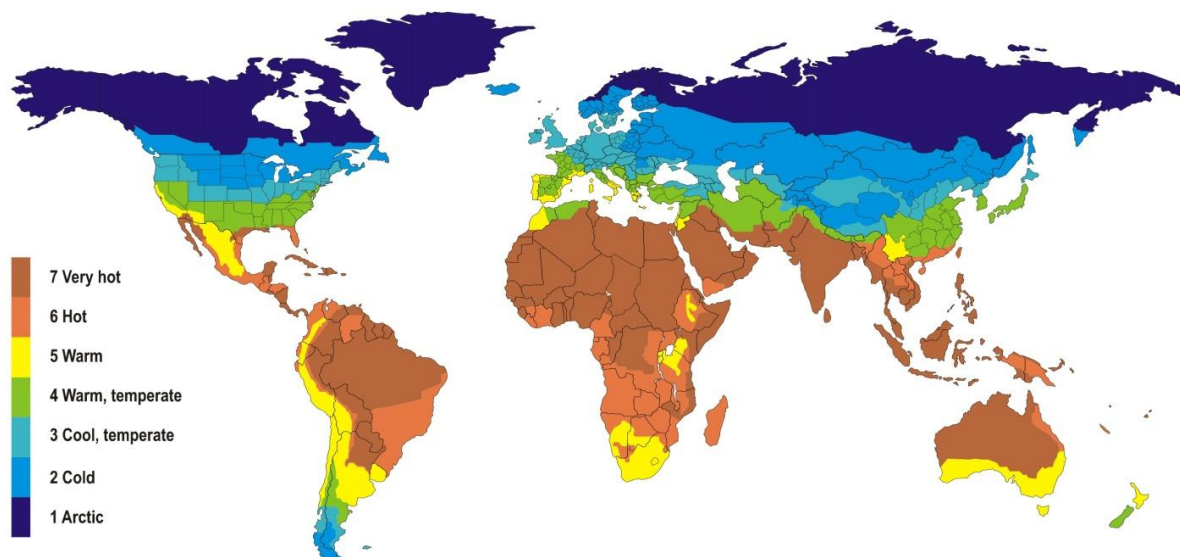


Fig. 48 Asignación de las zonas climáticas (regiones con requerimientos similares) (PassivHaus Institut, 2015)

Determinar la influencia exacta es una cuestión más compleja porque hay un exceso de factores involucrados que influye en el resultado. Sin embargo, en los cálculos en los siguientes subcapítulos se intentará considerar varias ubicaciones geográficas para tener una base de referencia.

### 3.3.2 Valor U

Otro factor muy importante es la transmitancia térmica o valor U. Como que el valor U total de una ventana con ATM es la suma de la transmitancia térmica de ambos componentes, es tan relevante el valor U de la ventana entera como el valor U del ATM por sí mismo.

El impacto del ATM es considerablemente mejor cuando es aplicado a un acristalamiento que tiene valor U alto en primer lugar, algo que se ve muy claro en la tabla en la página anterior. En la práctica significa que el impacto del mismo ATM es mucho más notable cuando se aplica a un acristalamiento simple que a un triple acristalamiento.

### 3.3.3 Superficie acristalada

El último factor afectando al impacto del ATM es la superficie acristalada: cuanta más superficie acristalada, más calor se pierde. Sigue que, en teoría, cuanta más superficie acristalada más impacto tendrá el ATM. En la práctica, esto plantea cuestiones de tipología y el estilo moderno. Se ha hablado anteriormente de que con la arquitectura moderna/contemporánea es normal ver edificios casi idénticos ubicados en climas totalmente contrarios y a veces en los lados extremos.



*Fig. 49 House with One Wall, Zurich, Suiza, Arquitecto Christian Kerez 2007*

*Fig. 50 Oficinas PWC, Oslo, Noruega, A-Lab Architects 2007*

En las imágenes arriba se ve dos edificios ubicados en climas fríos con superficies acristaladas muy grandes. La intención no es criticar los proyectos sino solo plantear como podría haber sido diferente el rendimiento energético con un aislamiento térmico móvil- una posible herramienta capaz de compensar y justificar este tipo de diseños en climas fríos como en Noruega. El vidrio es oportuno y en el hemisferio norte, un buen amigo por su transparencia que optimiza la entrada de la luz escasa durante el invierno. Sin embargo, cuando se diseñan edificios en climas fríos hay que considerar y respetar el clima, y es en esta cuestión que el ATM se hace relevante.

## 3.4 TESIS

Teniendo en cuenta los factores del capítulo anterior, combinado con todos los otros factores que afectan al impacto del ATM, hay una cantidad infinita de cuestiones a comprobar- o una cantidad infinita de tesinas que hacer. En este trabajo es imposible investigarlo todo y por eso se ha establecido una serie de cuestiones o preguntas que se consideran más relevantes con respecto al ATM, y que en esencia forman la base de este trabajo. Durante los siguientes capítulos se va a intentar dar respuesta a las preguntas inferior, usando cálculos, simulaciones y haciendo conclusiones. Las preguntas son las siguientes:

1. ¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción de un edificio?
2. ¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM en términos de demanda de calefacción en un edificio?
3. ¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?

La pregunta 1 es la más básica del trabajo y sin duda lo primero que cualquier persona se va a preguntar leyendo sobre el aislamiento térmico móvil por primera vez. ¿Cuál es el impacto del ATM, o cuanto se puede ahorrar en energía para calefacción?

La pregunta 2 es quizás no tan obvia como la primera. Esta cuestión aparece en varias de las fuentes estudiadas en el proceso de investigación inicial de este trabajo. La idea es que se considera la combinación doble acristalamiento + ATM como alternativa real a un triple acristalamiento. Esto se justifica porque los doble acristalamientos, generalmente, operan con un factor g más alto que los triples, permitiendo en mayor medida el paso de luz natural y calor solar. Está claro que los dobles, generalmente operan con valores U más altos también, pero en este caso el ATM puede compensar la pérdida de capacidad aislante al pasar de triple a doble acristalamiento.

La relación entre las ganancias de calor solar y pérdidas de calor es lo que se llama el balance ganancias/pérdidas y es la suma neta de las ganancias de calor solar y las pérdidas de calor.

Con respecto a pregunta 2, Langdon (1980) dice,

” Al pasar de doble a triple acristalamiento se reduce las pérdidas de calor a través del vidrio en solo 33% mientras que la adición de aislamiento móvil a un doble acristalamiento reduce las pérdidas en hasta el 50%. Además, el triple acristalamiento tiene una transmisión de luz de 64%, comparado con unos 74%

de transmisión a través de un doble acristalamiento. La figura 3-1 muestra que doble acristalamiento con aislamiento móvil supera al triple acristalamiento en cualquier situación.”<sup>18</sup>

Sigue diciendo,

“Se debe permitir a las ventanas dando al sur aprovecharse al máximo del sol disponible, y el triple acristalamiento absorbe o refleja tanto el calor solar que el acristalamiento simple con aislamiento nocturno es superior en la mayoría de los climas” (Langdon, 1980)<sup>19</sup>

Hay que aclarar que este libro fue publicado en 1980 y que los valores a que se refiere no son necesariamente válidos hoy en día. Sin embargo, el argumento es válido. Hoy en día parece que la importancia del factor g ha sido descuidado a favor del valor U, algo que se ve reflejado en la legislación Europea que determina sólo el valor U en productos de acristalamiento- no su factor solar.

Esta opinión está apoyada por Demel (DETAIL Green, 2012) que lo describe así,

“La discusión parcial del valor U y las pérdidas implica el riesgo de que perdamos de vista las ganancias de calor solar. Muchas ventanas estándar ya son en la actualidad ventanas de ganancias energéticas netas cuando se orientan a sur, oeste o este; esto significa que su ganancia de calor acumulativa en el periodo de calentamiento excede a sus pérdidas de calor. Desafortunadamente, en la legislación esto no queda adecuadamente reflejado”

Sigue, diciendo,

“A menudo los fabricantes mejoran con gran esfuerzo el valor U en unos pocos cientos mientras que una mejora significativa del valor G (o ganancia de calor solar) hubiera sido mucho más sencillo de lograr” (DETAIL Green, 2012)

Aunque el factor solar no es mencionado en la normativa oficial, está mencionado en las recomendaciones térmicas para ventanas de Passivhaus Institut. Se declara que, “Los acristalamientos deberían operar con una transmitancia solar total alta (factor g) de al menos 50%, haciendo posible las ganancias solares netas durante el invierno (aunque factores G más bajos serán apropiados para climas extremadamente cálidos y soleados” (iPHA, 2015)<sup>20</sup>

---

18 Traducción mía, texto original: “As you go from double to triple glazing you reduce heat loss through the glass by only 33%, while the addition of movable insulation to bare double glazing reduces the heat loss up to 50%. In addition, triple glazing results in a light transmission of 64%, compared to a 74% light transmission through double glazing. Figure 3-1 shows that double glazing with movable insulation outperforms triple glazing in every situation”

19 Traducción mía, texto original: “South-facing windows must be allowed to take full advantage of the available sun, and triple glazing absorbs or shades so much solar heat that single glazing with night insulation is superior to triple glazing in most climates”

20 Traducción por el autor, texto original: “Glazings should have a high total solar transmittance (g-value) of at least 50% making a net heat gain possible during the winter (although lower g-values may be appropriate for extremely warm, sunny climates)”



Se puede preguntar si los acristalamientos actuales con triple vidrio y capas bajo E realmente es la solución mejor al problema de permitir la máxima entrada de radiación solar hacia el interior y mínima transferencia de calor hacia el exterior. En la opinión del autor este requisito de dos propiedades opuestas está pidiendo una solución flexible en vez de una solución fija como la capa bajo E.

La pregunta 3 es muy relevante porque se puede decir con certeza que la posición y zona climática es muy importante para el ATM. Hay zonas donde el impacto será muy grande y zonas donde será bajo o ninguno. Determinar exactamente donde se dibujan estas zonas es seguramente un proceso demasiado exhaustivo para este trabajo. Sin embargo, se intentará simular en algunas zonas representativas para tener una idea aproximada.

En los siguientes capítulos se intentará dar respuesta a estas preguntas, comprobando con simulaciones y cálculos.





# **04** PRESTACIONES TÉRMICAS DEL ATM

Con respecto al Valor U de ventanas, se quiere clarificar algo que suele crear confusión. El Valor U de una ventana entera ( $U_w$ ) está compuesto por dos valores distintos:

- $U_g$  (g = glass) - el Valor U del sistema de acristalamiento
- $U_f$  (f = frame) - el Valor U del marco

El Valor  $U_w$  (w = window) es el Valor U total de la ventana, combinando los valores  $U_g$  y  $U_f$  multiplicado por su propia proporción de la superficie total de la ventana.

Se ve que los fabricantes de ventanas suelen especificar solo el Valor U del acristalamiento ( $U_g$ ). Es una trampa porque el Valor U del acristalamiento ( $U_g$ ) suele ser más bajo que el Valor de la ventana entera ( $U_w$ ). Esto es porque sistemas de acristalamientos modernos ofrecen valores más bajos que los sistemas de marcos son capaces de ofrecer. Por eso, los marcos son de hecho el punto débil en la ventana, resulta que el Valor  $U_w$  suele ser más alto que el  $U_g$ .

Como arquitecto es importante tenerlo en cuenta durante el proyecto porque puede afectar el comportamiento del sistema de acristalamiento. Dado que se trata de un sistema relativamente moderno, es, por ejemplo, mejor cuanto menor sea la superficie de marco respecto a superficie de vidrio. Como consecuencia, es también mejor instalar una ventana entera que dos más pequeñas con la misma superficie.

Con respecto al ATM es importante tener en cuenta el concepto de  $U_g$  y  $U_f$  porque afecta su relación e incorporación en el sistema de acristalamiento. El ATM, si se incorpora correctamente, tiene la ventaja de ser capaz de mejorar tanto el  $U_g$  y el  $U_f$  al mismo tiempo.

La literatura del ATM nos presenta varios valores estimados del valor U modificado usando ATM. Los resultados son interesantes y el efecto muy prometedor, aunque el método de cálculo generalmente no queda tan claro. Borer & Harris (1998) nos presenta el tabla inferior, ilustrando el efecto de dos tipos de ATM, aplicados a varias tipos de ventanas.

Queda claro que estos valores son anticuados y por lo tanto no nos dan información adecuada aplicable para sistemas de acristalamiento hoy en día. Sin embargo, las tendencias son parecidas.

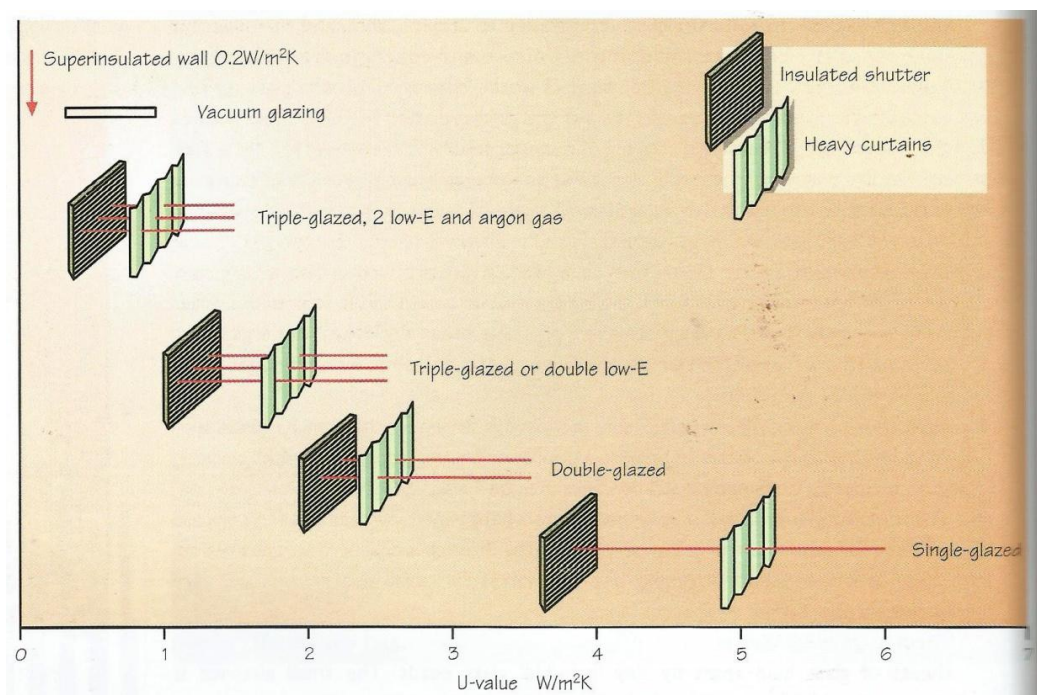


Fig. 7 Valores U de diferentes tipos de de acristalamiento (en marco de madera) con cortinas pesadas y porticones opacos aislados. 21 (Borer & Harris, 1998)

La primera tendencia que se nota es que el impacto del ATM es considerablemente más notable cuando se aplica a una ventana con baja capacidad aislante. Luego, el efecto disminuye cuanto mejor sea la capacidad aislante del sistema de acristalamiento.

En la publicación *Evaluating window insulation for cold climates* (CCHRC, 2011) se hizo un estudio de sistemas de ATM comunes donde se comparaba los sistemas en términos de capacidad aislante, resistencia a condensación, coste de inversión, facilidad de instalación, durabilidad y funcionalidad. El estudio es especialmente interesante porque aparte de las simulaciones con THERM/WINDOW se estudiaba sistemas instalados en realidad en edificios para entender mejor cómo funcionan en la vida real.

Hay que decir que cada resultado viene de un caso de estudio distinto con distintos parámetros, como por ejemplo el valor  $U_w$  de la ventana Inicial. Sin embargo, los datos dan una idea del potencial de mejora de los sistemas ATM. Los 8 casos de estudio son específicos para cada casa y ventana estudiada.

DATOS OBTENIDOS			
Sistema	Valor $U_g$ inicial	Valor $U_g$ Con ATM	Mejora
Porticones opacos exteriores a doble acristalamiento	3,79	0,74	81%
Persianas roller exteriores a triple acristalamiento	1,07	0,82	23%
Doble ventana exterior a doble acristalamiento	3,34	1,99	40%
Persianas celulares interiores a doble acristalamiento	1,62	1,01	60%
Cortinas interiores a triple acristalamiento	1,05	0,90	17%
Película plástica a triple acristalamiento	1,05	0,79	33%
Porticones opacos interiores a triple acristalamiento	1,07	0,43	60%

Fig. 51 Resultados de las mediciones en los casos de estudio (CCHRC, 2011)

21 Titulo original: "U-values of different glazing options (in a timber frame) with curtains and insulated shutters. As the glazing U-value improves, the effect of curtains and shutters is diminished."

No sorprende que sean los porticones opacos que ofrecen el mejor rendimiento. Este estudio es especialmente interesante porque a diferencia de otros, los resultados en realidad son obtenidos por medición, no por simulación. Se ve que cálculos y simulaciones de transferencia de calor son bastante precisos pero nunca pueden competir con las mediciones en edificios reales. En la misma publicación se hizo simulaciones paralelas con THERM con respecto a la transmitancia térmica y resistencia a la condensación. Se determinaba una ventana de referencia a la que se aplicaban distintos tipos de ATM. Fig. 52 muestra la ventana de referencia inicial sin ATM y la ventana con 50mm de XPS.

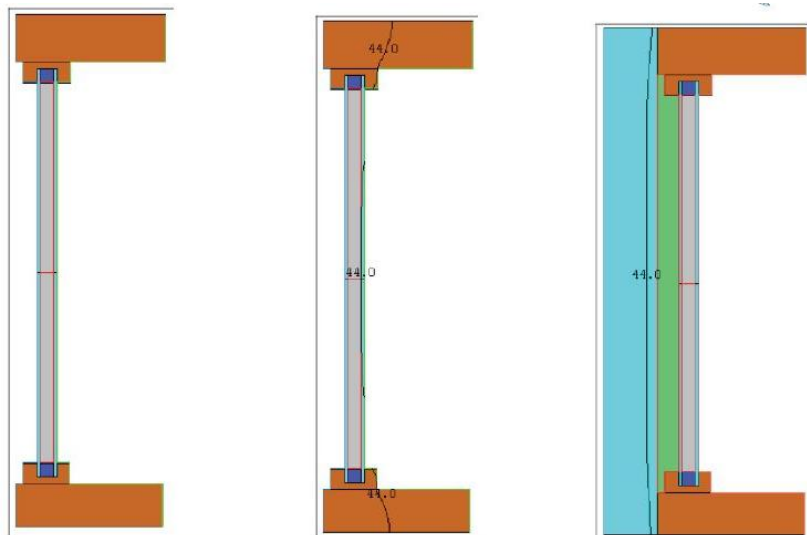


Fig. 52 Modelos THERM de la ventana de prueba sin y con ATM. (CCHRC, 2011)

Los resultados se presentan en la tabla abajo:

DATOS OBTENIDOS		
Sistema	Valor $U_w$	Mejora
Ventana de referencia	3,79	0,74
Porticones opacos exteriores	0,43	89%
Porticones opacos interiores	0,34	91%
Ventana extra exterior	1,24	67%
Ventana extra interior	1,77	53%
Persiana roller exterior	1,81	52%
Cortinas interiores	1,99	48%
Película polímero	2,20	42%
Persiana interior	2,39	37%

Fig. 53 Resultados obtenidos con THERM (CCHRC, 2011)

Estas simulaciones muestran una variedad enorme entre los sistemas. Respecto a este trabajo queda claro que hay que determinar el método de cálculo dinámico más apropiado.

Para calcular la transmitancia térmica en ventanas y puertas hay métodos manuales y de simulación. Métodos manuales son generalmente estáticos (condiciones de contorno fijas), mientras que en un programa de simulación se introduce solo algunos



parámetros y el programa realiza el cálculo, permitiendo en algunos casos realizar cálculos dinámicos.

La ventaja evidente de los métodos de simulación con software es que son paramétricos, así que facilitan el cambio y ajuste de parámetros durante el proceso de diseño. Con los métodos manuales, el cálculo tarda más tiempo y no es paramétrico, pero a cambio te da más control y la estructura del cálculo es más comprensible.

Hay varios estándares de calificación de sistemas de acristalamiento que incluye métodos de cálculo manual. Los más relevantes son:

### Europa

Estándar: International Organization for Standardization (ISO)

Documento concreto: ISO 10077-1 y 10077-2 para valor U marco ( $U_f$ ) y ventana entera ( $U_w$ ), EN 673 para valor U acristalamiento ( $U_g$ )

### Global

Estándar: PassiveHaus Insitut (PHI)

Documento concreto: "Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components"

- Estándar ISO con algunas modificaciones.

### Norteamérica

Estándar: National Fenestration Rating Council (NFRC)

Documento concreto: NFRC 100

### Canadá:

Estándar: Standards Council of Canada

Documento concreto: CSA A440.2

- Armoniza con NFRC)

Las diferencias más importantes entre los métodos de cálculo son:

- Condiciones de límite (temperaturas & resistencias de película de aire)
- Tamaño estándar de la venta en el cálculo
- Método para considerar el efecto del perímetro del vidrio
- Metodologías de cálculo para cámara de aire en el componente de acristalamiento, valor u del marco y factor solar (SHGC) de la ventana entera o centro del vidrio.
- Tratamiento de acristalamiento con pendiente.

Estas diferencias han producido descontento entre los fabricantes de ventanas en los EE.UU. Ellos son cubiertos por la normativa del NFRC y sigue este método de cálculo. El descontento viene de que el método de cálculo del ISO suele ser más favorable que el del NFRC. Es decir que el valor u de la misma ventana suele ser más bajo con el método de cálculo de ISO.

El factor que hace la mejor diferencia es la temperatura exterior. El método de ISO se basa en una temperatura exterior de 0 °C, mientras que en el del NFRC se basa en una temperatura exterior de -18°C. Con una temperatura exterior de 0°C hay un beneficio notable usando más distancia entre los vidrios. Este beneficio no existe en el cálculo de NFRC. Entre estos métodos de cálculo es solo el ISO que incluye método de cálculo para el ATM.

### El estándar ISO 10077-1 y 10077-2

Los documento ISO 10077-1 e ISO 10077-2, titulados: “Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal Transmittance” son la referencia principal respecto a transmitancia térmica en ventanas en Europa.

Estos estándares ISO fueron desarrollados para permitir determinar el rendimiento energético de cualquier producto para ventanas con un conjunto de condiciones climáticas predeterminadas.

Los ISO 10077-1 y 10077-2 ofrecen un método de cálculo para determinar la transmitancia térmica de ventanas y puertas. La primera parte, ISO 10077-1 presenta el cálculo conjunto del producto, mientras que la segunda parte, el ISO 10077-2 especifica el cálculo de la transmitancia térmica de marcos (para usar en la primera parte). El cálculo incluye:

$U_g$	valor U centro del acristalamiento sólo
$U_f$	valor U del marco sólo
$\Psi_g$	transmitancia térmica lineal debido al efecto térmico combinado del acristalamiento, el espaciador y el marco
$U_w$	valor U de la ventana entera
$U_{ws}$	valor U de la ventana entera con ATM

El último, el  $U_{ws}$  es lo que nos interesa más y que vamos a comprobar. El cálculo para  $U_{ws}$  incluye la resistencia adicional de la cámara de aire encapsulado entre la ventana y el ATM además de la resistencia del ATM por sí mismo.

La ecuación está definida así:

“Una contraventana en el exterior de una ventana introduce una resistencia térmica adicional, como resultado de tanto la cámara de aire encapsulado entre la contraventana y la ventana, como la contraventa por sí misma. La transmitancia térmica de una ventana con contraventana cerrada,  $U_{ws}$ , se define con la ecuación:”<sup>22</sup> (ISO 10077, 2006, p. 10)

(1)

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

$U_w$  es la transmitancia de la ventana entera

$\Delta R$  es la resistencia térmica adicional del ATM y el aire encapsulado entre él y la ventana

---

<sup>22</sup> Traducción mía, Texto original: “A shutter on the outside of a window introduces an additional thermal resistance, resulting from both the air layer enclosed between the shutter and the window, and the shutter itself (see Figure 7). The thermal transmittance of a window with closed shutters,  $U_{ws}$ , is given by Equation”

La ecuación (2) para el  $U_w$  se define así:

(2)

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

$A_g$  superficie visible del acristalamiento  
 $A_f$  superficie visible del marco  
 $U_g$  valor U centro del acristalamiento  
 $U_f$  valor U del marco  
 $L_g$  perímetro del acristalamiento  
 $\Psi_g$  transmitancia térmica lineal del acristalamiento

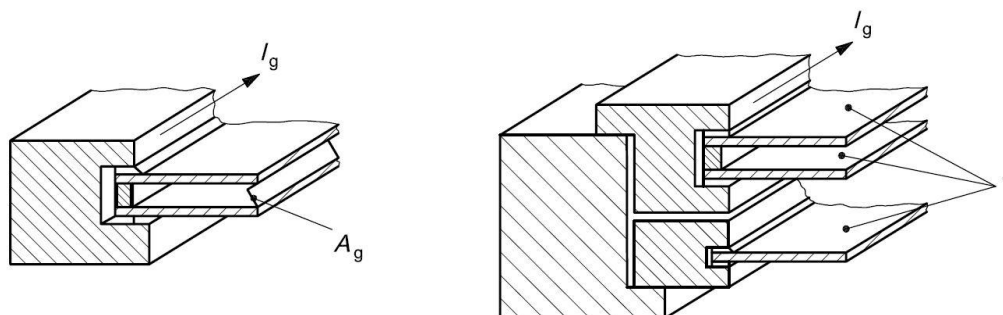


Fig. 54 Ilustración de la medida de  $A_g$  y  $L_g$  ( ISO 10077, 2006)

$\Delta R$  depende de la transmisión térmica del ATM y su permeabilidad de aire y la distancia perimetral entre la contraventana y su entorno.

Cuando la resistencia de la contraventana por sí mismo ( $R_{sh}$ ) es conocido (por cálculo o por medición), la resistencia térmica adicional total  $\Delta R$ , puede obtenerse usando la expresión adecuada en Fig. 55, dependiendo de la permeabilidad al aire de la contraventana.

Air permeability of shutter <sup>a</sup>	Additional thermal resistance $\Delta R$ $m^2 \cdot K/W$
Very high	0,08
High	$0,25 R_{sh} + 0,09$
Average	$0,55 R_{sh} + 0,11$
Low	$0,80 R_{sh} + 0,14$
Tight	$0,95 R_{sh} + 0,17$
<sup>a</sup> The definition of the air permeability of shutters is given in Annex H.	

Fig. 55 Resistencia térmica adicional para ventanas con porticones opacos ( ISO 10077, 2006)

Para una ventana con contraventana de panel de Poliestireno Expandido bien sellado por los bordes, la ecuación para la resistencia térmica adicional (3) se define así:

(3)

$$\Delta R = 0,95 R_{sh} + 0.17$$

$R_{sh}$  es la resistencia térmica de la contraventa.

El método parece fiable. Lo único que no queda tan claro es la resistencia térmica adicional de la cámara de aire encapsulada entre la ventana y la contraventana. Se declara que la ecuación incluye la resistencia térmica de la cámara de aire, pero lo que hace confusión es que el espesor de dicha cámara no está incluido como variable en la ecuación. Como que la resistencia térmica de la cámara de aire depende del espesor de la cámara se puede plantear preguntas en cuanto preciso es esa parte de la ecuación.

### El estándar de PassivHaus Insitut (PHI)

Para componentes de ventanas, el PassivHaus Insitut publica el manual *Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components*. La única diferencia entre el ISO y el estándar PHI es que el PHI distingue entre el valor  $U_w$  de una ventana no instalada y instalada.

Para una ventana no instalada, el documento de PHI especifica que los valores  $U$  y  $\Psi$  sean calculados usando ISO 10077 y EN673.

Para una ventana instalada, además del valor  $U$  centro ( $U_g$ ), el valor  $\Psi$  del perímetro del acristalamiento ( $\Psi_g$ ) y el valor  $u$  del marco ( $U_f$ ) se incluye un valor  $\Psi$  instalada. Este valor no forma parte del estándar ISO 10077.

La ecuación para el valor  $U$  de una ventana entera ( $U_t$ ) no instalada es idéntica al valor  $U_w$  del ISO y se define así:

$$U_t = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

La ecuación para el valor  $U$  de una ventana entera instalada ( $U_{t,installed}$ ) se define así:

$$U_{t,installed} = \frac{U_t A_t + \sum l_e \Psi_e}{A_t}$$

$U_t$  es el valor  $U$  de la ventana entera no instalada

$A_t$  es la superficie de la ventana entera ( $A_g + A_f$ )

$\sum l_e \cdot \Psi_g$  es la suma de todos los perímetros multiplicado por el valor  $\Psi$  instalado respectivo

El estándar PHI se incluye en este texto porque es interesante respecto al cálculo de  $U_w$ , sin embargo no se usa para hacer un cálculo por dos razones.

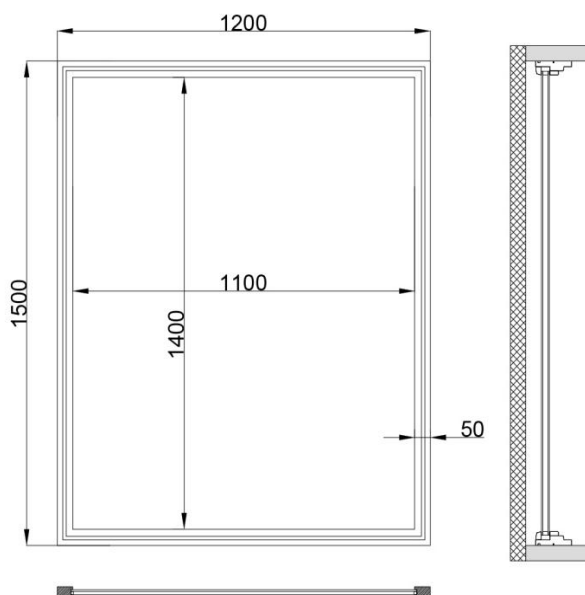
Primero, el método de cálculo para el variable  $\Psi_e$  en la ecuación para  $U_{t,installed}$  no está suficientemente bien explicado. Segundo, no incluye método de cálculo para el valor  $U$  con ATM ( $U_{ws}$ ), así que al final no cumple con los objetivos de este capítulo.

En los siguientes subcapítulos se va a comprobar varios métodos de cálculo para el valor  $U$  modificado  $U_{ws}$ , usando ATM con el objetivo de determinar el método de cálculo más apropiado. Para obtener resultados comparables se hace cada cálculo o simulación con la misma ventana (acristalamiento y marco), el mismo ATM y los mismos datos de entrada.

## 4.1 VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON ISO 10077-1.2006

Los valores  $U_g$  y  $U_f$  usados se basan en el programa DesignBuilder, que utiliza la base de datos Energyplus. Los valores  $U_g$  y  $U_f$  de DesignBuilder son calculados usando el estándar ISO.

El ATM será una placa de Poliestireno Expandido de 50mm con una distancia perimetral al alféizar de 2mm en todo el perímetro. El cálculo se hace usando una ventana y un ATM con los siguientes criterios:



### MEDIDAS

Area acristalamiento, $A_g$	1,58 m <sup>2</sup>
Area marco, $A_f$	0,22 m <sup>2</sup>
Circunferencia acristalamiento, $l_g$	5,00 m
Circunferencia marco, $l_f$	5,40 m

### ACRISTALAMIENTO (WINDOW 7.3)

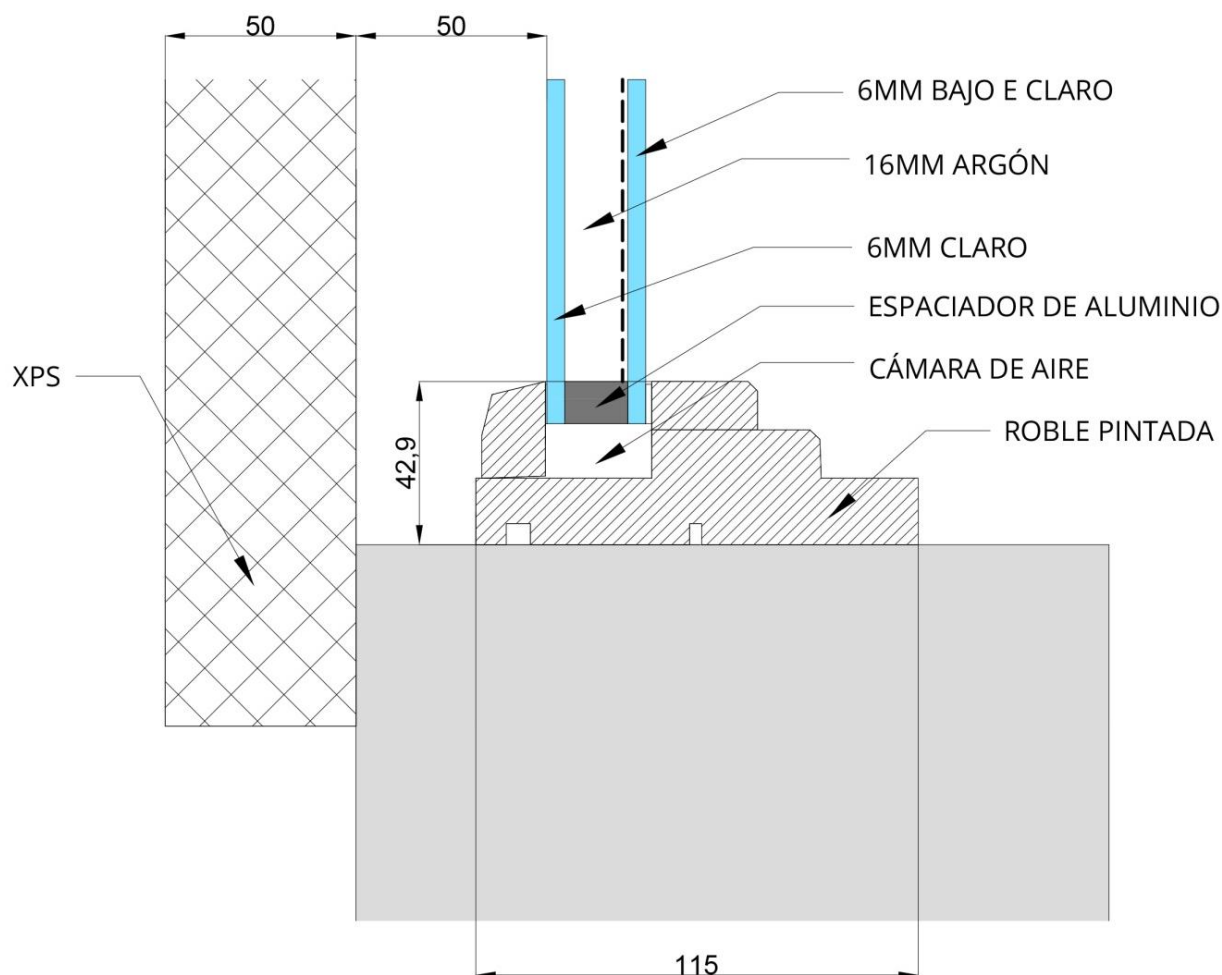
Tipo	Doble, bajo E
Espesor Total	26mm
Gas	Argón
Transmitancia térmica, $U_g$ (ISO)	1,272 W/m <sup>2</sup> K
Resistencia térmica, $R_g$ (ISO)	0,787 m <sup>2</sup> K/W
Transmisión Luz	0,788
Transmisión Solar Total (SHGC)	0,699

### MARCO (WINDOW 7.3)

Tipo	Sólido
Material	Roble pintada
Espesor max	115mm
Transmitancia térmica, $U_f$ (ISO)	2,410 w/m <sup>2</sup> K
Resistencia térmica, $R_f$ (ISO)	0,414 m <sup>2</sup> K/W

### ATM

Tipo	Opaco
Material	Poliestireno Exp.
Espesor	50mm
Transmitancia térmica, $U_{sh}$	0,68 w/m <sup>2</sup> K
Resistencia térmica, $R_{sh}$	1,47 m <sup>2</sup> K/W



(Elaboración propia)

### Valor u modificado $U_{ws}$ usando ATM:

La ecuación (1) para el  $U_{ws}$  se define así:

$$(1) \quad U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Se empieza calcular el valor  $U_w$  para insertar en la ecuación (1). El valor  $U_w$  se calcula así:

$$(2) \quad U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

$$U_w = \frac{(1,58 \cdot 1,272) + (0,22 \cdot 2,414) + (5 \cdot 0,084)}{(1,58 + 0,22)}$$

$$U_w = 1,645 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$A_g = 1,58 \text{ m}^2$
$A_f = 0,22 \text{ m}^2$
$U_g = 1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$
$U_f = 2,41 \text{ W/m}^2\text{K}$
$l_g = 5 \text{ m}$
$\Psi_g = 0,084 \text{ mK}$

La resistencia térmica adicional de una ventana con contraventana de panel de Poliestireno Expandido bien sellado por los bordes se calcula así:

$$(3) \quad \Delta R = 0,95 R_{sh} + 0.17$$

$$\Delta R = 0,95 * 1,47 + 0.17$$

$$\underline{\Delta R = 1,566 \text{ m}^2\text{K/W}}$$

$$R_{sh} = 1,470 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Luego se inserta las ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1):

$$(1) \quad U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{1,645} + 1,566}$$

$$\underline{U_{ws} = 0,460 \text{ W/m}^2\text{K}}$$

$$U_w = 1,645 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Delta R = 1,566 \text{ m}^2\text{K/W}$$

#### 4.1.1 Conclusiones

El valor U de la ventana con el ATM activo es 0,46 W/m<sup>2</sup>K, significando una reducción de 72%. Se recuerda que el valor U<sub>ws</sub> solo cuenta cuando el ATM está activo. Antes de empezar otros cálculos energéticos hay que incluir el factor tiempo con el valor U<sub>ws</sub>. Es decir que el valor U<sub>ws</sub> real en un edificio usando ATM depende del número de horas que el ATM está activo.



## 4.2 VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON BALANÇ 81.1

Balanç es un algoritmo en forma de una hoja de cálculo Excel desarrollado por El Grup d'Arquitectura i Tecnologia (GAT) de la UPC. Es un algoritmo relativamente simple para el balance energético en edificios. En la parte de definición de superficies acristaladas se incluye la opción de simular el balance con aislamiento nocturno, al final lo mismo que el ATM.

Los datos de entrada del acristalamiento es lo mismo que en el cálculo anterior y se introducen así:

DADES DE LES SUPERFÍCIES TRANSPARENTS									
PES (kg/m <sup>2</sup> )	15	15	15	15	15	15	15	25	
Transm. Llum. (%)	89	49	41	73	32	18	15	79	
Factor Solar g	0,82	0,61	0,57	0,56	0,52	0,45	0,44	0,69	
U (w/m <sup>2</sup> ·°C)	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	5,7	1,27	
Gruix total (mm)	6	6	6	6	6	6	6	26	
TIPUS ENVIDRAMENT	VIDRES MONOLÍTICS 6 mm								
	DE COLOR				REFLECTANT				
	1	2	3	4	5	6	7	29	
	CLAR	BRONZE	GRIS	VERD	INCOLOR	BRONZE	GRIS		
6-16Ar-E6									

Fig. 56 Marcado en rojo es nuestra ventana de referencia

Los valores de entrada marcados en rojo a la derecha corresponden a nuestra ventana de prueba. Los datos de entrada del marco y el ATM se introducen así:

		VARIABLES A INTRODUIR			CARACTERÍSTIQUES DEL VIDRE			VALORS A FULL "DEF BASICA"					AÏLLAMENT NOCTURN - ELEMENTS QUE S'AFEIGEIXEN A L'ENVIDRAMENT.																		
		TIPUS D'ENVIDRAMENT (Nº)	COEF. DE MANTENIMENT	COEF. FUSTERIA	PES (kg/m²)	Transm. Llum. (%)	Factor Solar g	U (w/m²*°C)	Gruix total (mm)	U DIURNA (w/m²°C)	U NOCTURNA (w/m²°C)	EXPOSICIÓ DEL VIDRE	FACTOR SOLAR PONDERAT G*	GRUIX INTERIOR (mm)	PES INTERIOR (kg/m²)	CONDUCTIVITAT (w/m.°C)															
																0,03	0,03	0,13	0,2	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04							
																MATERIAL	CAMBRA D'AIRE 1	CAMBRA D'AIRE 2	FUSTA LLEUGERA	FUSTA PESADA	POLIESTIRÈ EXPANDIT	POLIURETÀ LLEUGER	FIBRA DE VIDRE	SURO	GUTEX®	MATERIAL A	MATERIAL B				
FAÇANES	Norte	N	29	0,90	0,17	25	79	0,69	1,3	26	1,27	1,27	0,90	0,46	13	13															
	Sur	S	29	0,90	0,17	25	79	0,69	1,3	26	1,27	0,45	0,90	0,46	13	13	5,0				5,0										
	Oeste	O	29	0,90	0,17	25	79	0,69	1,3	26	1,27	1,27	0,90	0,46	13	13															
	Este	E	29	0,90	0,17	25	79	0,69	1,3	26	1,27	1,27	0,90	0,46	13	13															
		S											0,90	##	##	##															
		E											0,10	##	##	##	##														
		O											0,90	##	##	##	##														
		NO											0,90	##	##	##	##														
COBERTA													1,00	##	##	##															
SI N'HI HA, cal introduir el gruix en cm. de les capes d'aïllament nocturn de cada superfície transparent.																															

---

## 4.2.1 Conclusiones

---

El valor  $U_{ws}$  de la ventana y el ATM de prueba sale a 0,45 W/m<sup>2</sup>K. Corresponde relativamente bien con el cálculo del estándar ISO. Sin embargo, se plantea varias cuestiones con respecto a la exactitud de esta simulación:

- **Valor U marco ( $U_{\eta}$ )**

Aparte del coeficiente de carpintería, que es la proporción de marco respecto a la ventana entera, en la simulación falta totalmente datos de entrada térmicos para el marco.

- **Transmitancia térmica lineal del acristalamiento ( $\Psi_g$ )**

La simulación aparentemente no considera este factor

- **La superficie del acristalamiento y marco ( $A_g / A_f$ )**

El programa hace la simulación fachada por fachada, sin posibilidad de definir cada ventana. Esto hace la simulación inexacta.

- **La permeabilidad de aire del ATM**

No considera la permeabilidad de aire del material del ATM ni la permeabilidad de aire de la brecha entre el perímetro del ATM y su entorno.

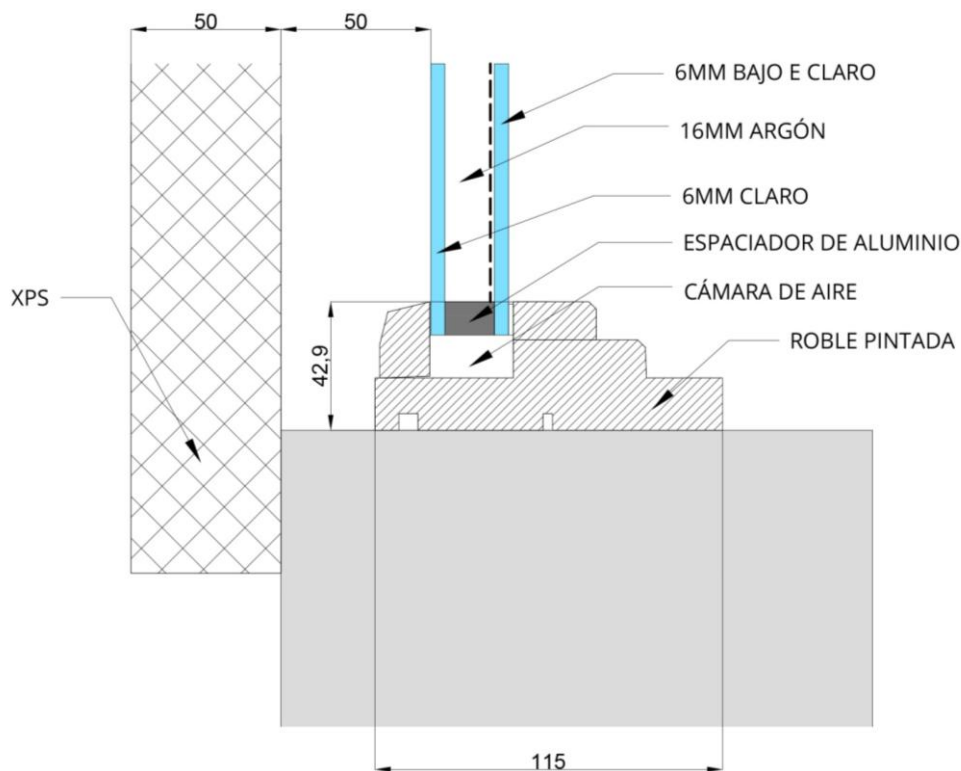
Considerando esta lista de faltas se concluye que este método de cálculo no es adecuado para determinar el valor  $U_{ws}$  de la ventana usando ATM.

## 4.3 VALOR U MODIFICADO ( $U_{ws}$ ) CON WINDOW 7.3 Y THERM 7.3

En este cálculo se utiliza los programas WINDOW y THERM para determinar el valor  $U_{ws}$  del mismo sistema. Estos programas fueron desarrollados por *Lawrence Berkeley National Laboratory, EE.UU* con patrocinio del gobierno. Se considera estos programas como los principales para simular transmisión térmica/ óptica y resistencia a condensación de los sistemas de acristalamiento.

THERM es un programa de simulación bidimensional de transferencia de calor para secciones constructivas. Se puede modelar secciones de paredes opacas tanto como ventanas. En el programa WINDOW se puede simular con sistemas de acristalamiento complejos, incluso marcos modelados en el THERM.

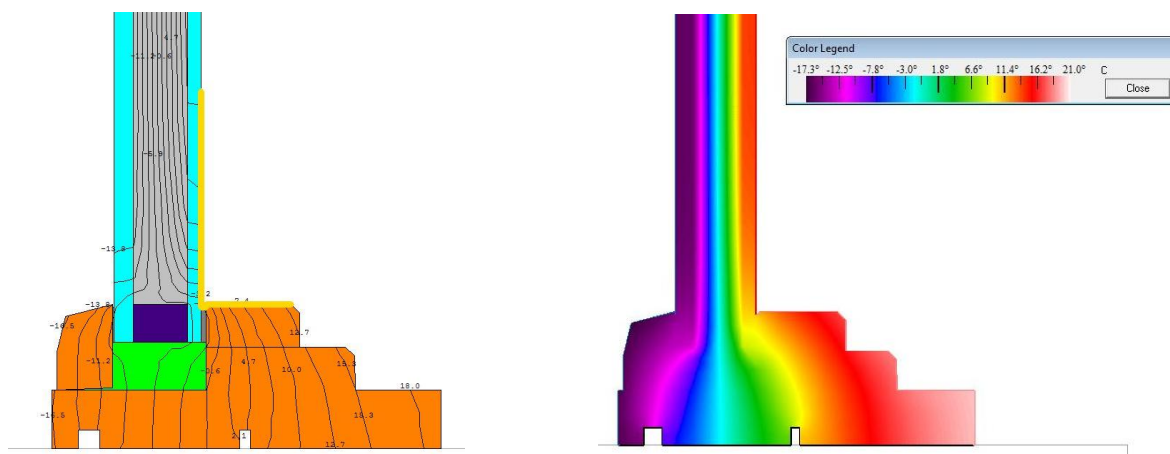
Se sigue utilizar la misma ventana de referencia como en los cálculos anteriores:



(Elaboración propia)

La manera específica de simular el ATM con el programa THERM se basa en la publicación *Evaluating window insulation for cold climates* (CCHRC, 2011)

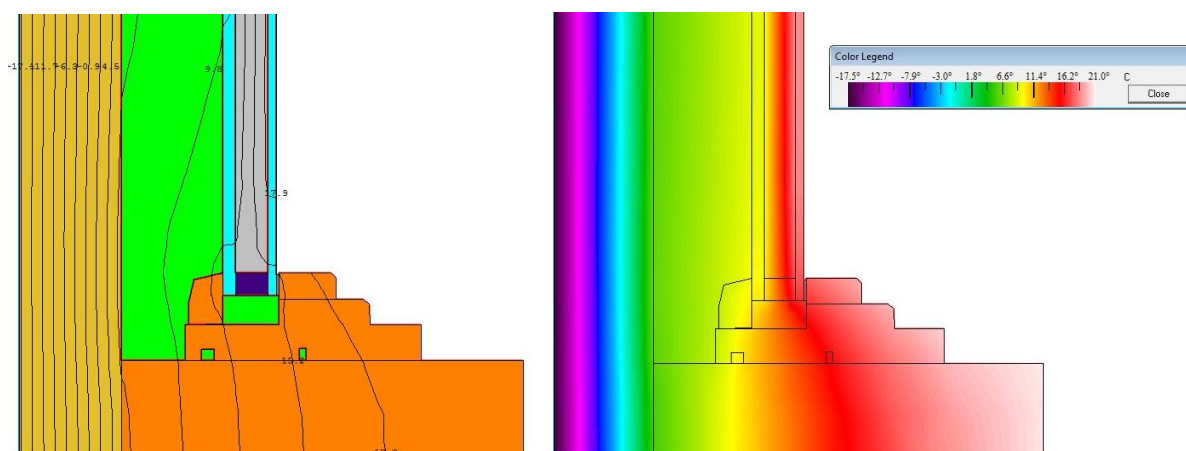
El primer paso es modelar el marco en THERM para encontrar la transmitancia térmica del marco,  $U_f$ . Para simular correctamente la sección hay que incluir el sistema de acristalamiento, lo que se preparó anteriormente. En el programa la sección se ve así:



El programa incluye una función visual bastante útil en que se visualiza con una paleta de colores la transferencia de calor en la sección:

Según THERM, este marco tiene un valor  $U_f$  de  $2,41 \text{ W/m}^2\text{K}$ , que combinado con el valor  $U_g$  de  $1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$  resulta en una valor  $U$  de la ventana entera,  $U_w$  de  **$1,645 \text{ W/m}^2\text{K}$** . Esto corresponde exactamente con el  $U_w$  obtenido con al cálculo ISO anteriormente.

Luego se aplica el ATM de Poliéstireno expandido (XPS):



Los colores son muy descriptivos porque se ve la temperatura de superficie a través de toda la sección. Con el ATM activo el programa nos da un valor  $U_{ws}$  de  **$0,414 \text{ W/m}^2\text{K}$** .

### 4.3.1 Conclusiones

---

THERM y WINDOW son programas potentes, pero poco intuitivos (especialmente THERM) y exigen conocimientos por encima del promedio sobre la física térmica. Un pequeño error puede cambiar radicalmente el resultado y la probabilidad de cometer errores es alta.

Sin embargo, en comparación con los otros métodos se considera la combinación de THERM y WINDOW como lo mejor y más preciso. A parte de que el cálculo es mucho más preciso que otros, te da una visión general visualizada más comprensible.

El resultado final de la ventana de referencia con ATM es de  $U_{ws} = 0,414 \text{ W/m}^2\text{K}$ , una reducción del valor  $U_w$  inicial de 75%.

El valor  $U_{ws}$  es un poco por debajo de los otros cálculos por motivos desconocidos aunque se supone que THERM incluye factores que los otros no incluyen. Otra explicación es que la variación podría ser debido a diferencias en métodos de cálculo entre ISO y NFRC. Mientras que en WINDOW se puede especificar usar el estándar ISO o NFRC, es un hecho conocido que el THERM se basa mucho de los factores en el estándar NFRC.

El resultado se considera plausible comparado con resultados obtenidos en otras fuentes. Mediante la medición del rendimiento térmico de ventanas reales con ATM, Cold Climate Housing Research Center en Alaska (2011), presenta para una ventana de doble acristalamiento con ATM de panel opaco una reducción de valor  $U_g$  de 3,78 a 0,74  $\text{W/m}^2\text{K}$ , o bien 81%.

Se considera este método de cálculo lo más satisfactorio de los que se ha comprobado y es el método WINDOW / THERM que se va a aplicar a lo largo de este trabajo.







# 05 IMPACTO EN EL BALANCE ENERGÉTICO

*El impacto del ATM en las pérdidas de calor y la demanda de calefacción en los edificios*

En este capítulo se encarga calcular el impacto del ATM sobre el balance ganancias solares/ pérdidas de calor y demanda de energía para calefacción usando Designbuilder. Podemos considerar este capítulo como lo más importante del trabajo porque es aquí que se comprueba en números reales el rendimiento del ATM.

El programa de evaluación energética, Designbuilder, nos da la posibilidad de comprobar exactamente el impacto del ATM sobre el balance de energía del edificio. Para tener una base de comparación lo más sencilla posible se ha establecido una "célula" de referencia, que en realidad es una caja sencilla que representa un edificio.

El objetivo tanto con el balance ganancias/pérdidas como la demanda de calefacción es usar este programa para obtener datos comparables en kWh/m<sup>2</sup>año para poder medir exactamente el impacto de un ATM aplicado a varios acristalamiento y fachadas con diferentes ratios de superficie acristalada.

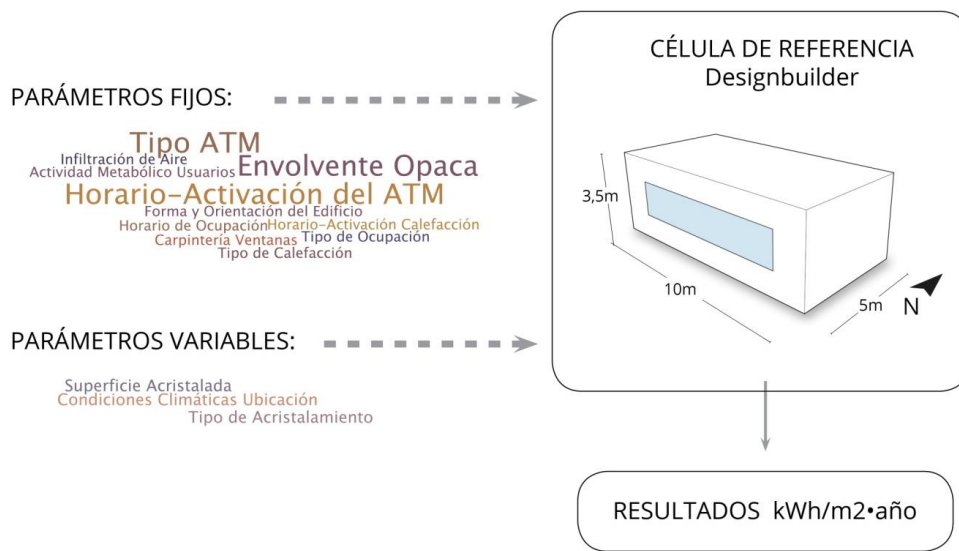
Utilizando esta herramienta se intenta dar respuesta específica a las preguntas definidas en capítulo 0 :

1. ¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción de un edificio?
2. ¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM en términos de demanda de calefacción en un edificio?
3. ¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?

En el siguiente subcapítulo se presenta la célula de referencia que representa un edificio de estudio definido por una serie de parámetros fijos. Luego, se aplica una serie de parámetros variables a esta misma célula para responder a las preguntas mencionadas anteriormente.

## 5.1 LA DEFINICIÓN DE LA CÉLULA DE REFERENCIA

Se presenta la célula de referencia, que es el edificio de base usado para los distintos cálculos energéticos. La célula de referencia opera con una serie de parámetros fijos y una de variables. Los parámetros fijos serán invariables independientemente del cálculo. Los parámetros variables se modifican dependiendo de a que pregunta se quiere dar respuesta.



Los parámetros fijos se definen en detalle en el siguiente subcapítulo “Parámetros fijos” y son los siguientes:

- Edificio, Forma y orientación
- Edificio, Envolvente opaca
- Edificio, Infiltración de aire
- Ocupación, Tipo
- Ocupación, Horario
- Ventanas, Carpintería
- ATM, Tipo
- ATM, Horario-Activación
- Calefacción, Tipo
- Calefacción, Horario-Activación

Los parámetros variables son los siguientes:

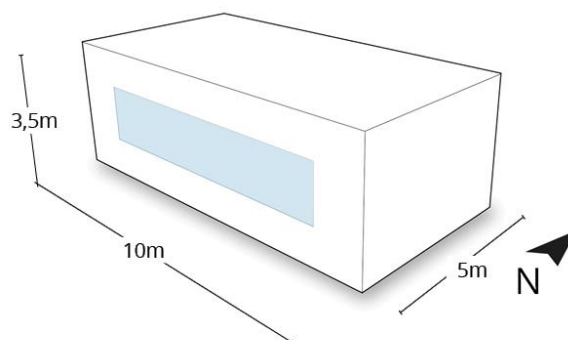
- Condiciones climáticas
- Ventanas, Tipo de acristalamiento
- Edificio, Superficie acristalada

Estos parámetros variables se definen en detalle en el subcapítulo 5.1.2 “Parámetros variables”. Las variaciones específicas de los parámetros variables para cada cálculo se presentan en relación con cada cálculo respectivo. Los informes exhaustivos con los resultados, incluyendo datos de entrada/salida y resultados intermedios detallados se encuentran en el CD digital adjunto a este trabajo.

## 5.1.1 Parámetros fijos

*Parámetros invariables en cada cálculo***Edificio, Forma y orientación**

Se ha intentado hacer esta simulación con condiciones del edificio de prueba lo más "normal" posible. El factor forma se considera convencional y el edificio está orientado con el lado largo hacia el sur. Se imagina una casa de forma rectangular con las siguientes características:



(Elaboración propia)

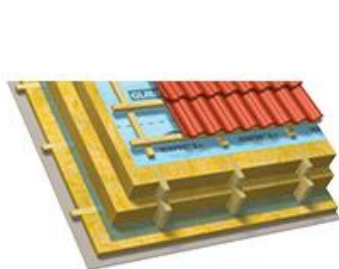
DATOS GEOMÉTRICOS	
Altura media interior	3,2m
Superficie interior	50 m <sup>2</sup>
Volumen interior	160m <sup>3</sup>
Superficie envolvente	205 m <sup>2</sup>
Factor forma	1,28 m-1

**Edificio, Tipo de construcción de paramentos exteriores**

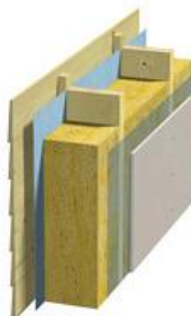
Este sistema constructivo, parecido a un balloon frame es lo más típico para casas unifamiliares en Noruega y se presenta así:

**Cubierta:  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$** 

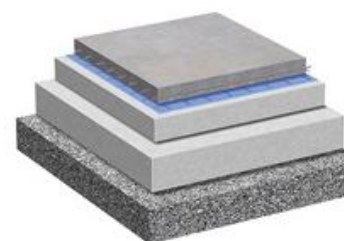
10mm Tejas ceramicas  
100mm Cámara de aire  
Lámina impermeable  
300mm Lana de roca  
Barrera de vapor  
50mm Cámara de aire  
12mm Placa de carton yeso

**Paredes:  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$** 

20mm Tablones de madera  
50mm Cámara de aire  
Lámina impermeable  
250mm Lana de roca  
Barrera de vapor  
12mm Placa de carton yeso

**Solera:  $U = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$** 

300mm Poliestireno  
Barrera de vapor  
200mm Hormigón  
50mm Cámara de aire  
20mm Parquet



La transmitancia térmica de los distintos paramentos cumple bien con los requisitos mínimos especificados en la normativa Noruega equivalente al CTE.

Dichos requisitos se presentan en la tabla abajo (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2010) <sup>23</sup>

REQUISITOS MÍNIMOS, VALOR U, NORUEGA (TEK10)	
<i>Elemento</i>	<i>Valor U (W/m<sup>2</sup>K)</i>
Cubierta	≤ 0,18
Paredes exteriores	≤ 0,22
Solera	≤ 0,18
Ventana/Puerta (componente entero, U <sub>w</sub> )	≤ 1,60

### Edificio, infiltración de aire

El edificio opera con una infiltración de aire constante de 0,3 vol. /hora.

### Ocupación, Tipo

El edificio está ocupado por 3 personas, significando una ocupación de 0,07 persona/m<sup>2</sup>. Su actividad metabólico corresponde a "comer/beber".

### Ocupación, Horario

El horario de ocupación del edificio es el siguiente:

HORARIO DE OCUPACIÓN		
	<i>Hora</i>	<i>Nivel de actividad</i>
Días laborables	15:00-07:00	1
Fines de semana	00:00-24:00	0,7
Otros días	00:00-24:00	1

### Ventanas, Carpintería

El marco es un parámetro fijo y es invariable en cada cálculo. Es de madera de roble pintada y tiene las siguientes propiedades:

CARACTERÍSTICAS, MARCO	
Espesor promedio	50mm
Ancho promedio	40mm
Valor U <sub>f</sub>	2,30 W/m <sup>2</sup> K
<i>Superficie exterior</i>	
Coeficiente transferencia de calor por convección	19,87 W/m <sup>2</sup> K
Coeficiente transferencia de calor por radiación	5,13 W/m <sup>2</sup> K
Resistencia superficial	0,04 m <sup>2</sup> K/W
<i>Superficie interior</i>	
Coeficiente transferencia de calor por convección	2,15 W/m <sup>2</sup> K
Coeficiente transferencia de calor por radiación	5,54 W/m <sup>2</sup> K
Resistencia superficial	0,13 m <sup>2</sup> K/W

<sup>23</sup> Byggt teknisk forskrift (TEK10), § 14-3. Energiltak

**ATM, Tipo**

El ATM usado siempre es el mismo en cada cálculo. Consta de una panel opaco de Poliestireno Expandido (EPS) de 50mm de espesor, elegido por su rendimiento eficaz.

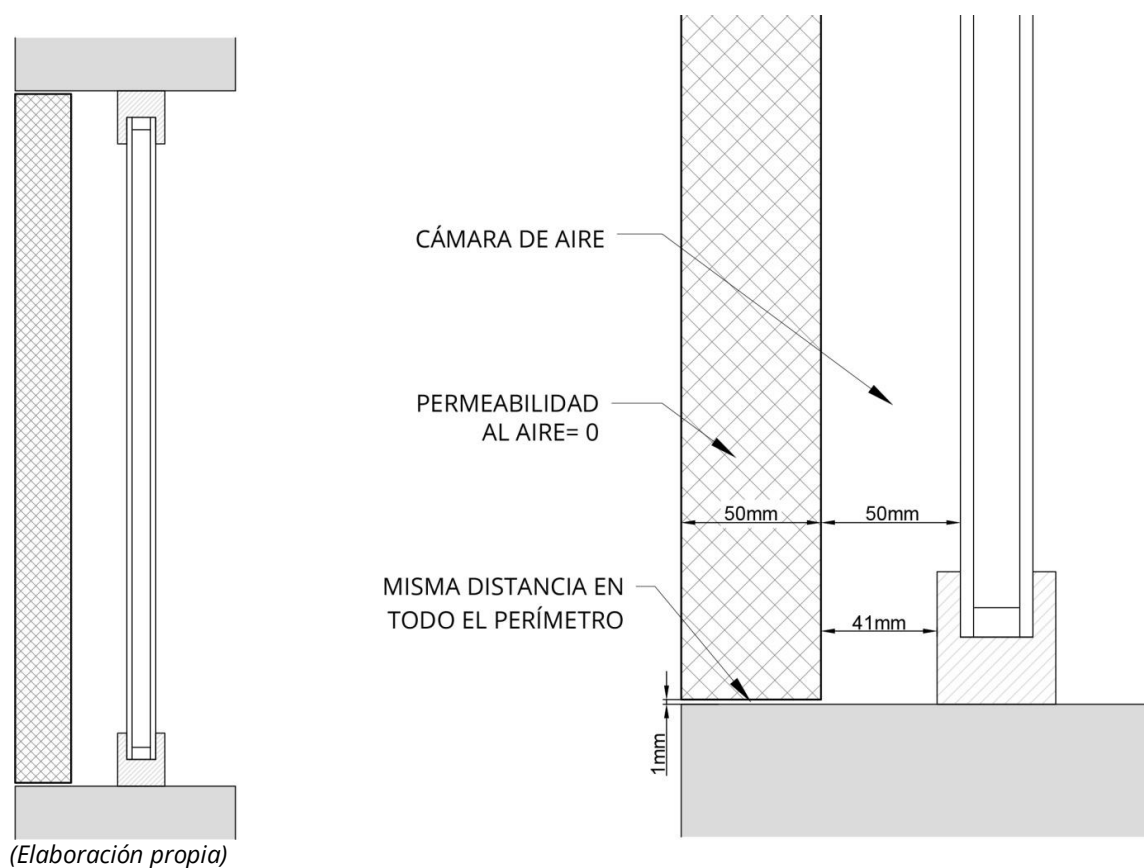


CARACTERÍSTICAS, ATM: PLACA DE EPS, 50MM	
Espesor	50mm
Distancia ATM-vidrio	50mm
Distancia ATM-marco	41mm
Distancia ATM-hueco perimetral	1mm
Permeabilidad al aire del material <sup>1)</sup>	0
Conductividad térmica	0,04 W/m·K
Transmitancia térmica <sup>2)</sup>	0,60 W/m²K
Transmitancia solar	0,05
Reflectancia solar	0,3
Transmitancia visible	0,05
Reflectancia visible	0,3
Emisividad onda larga	0,9
Transmitancia onda larga	0,05

1) 1= muy permeable, 0=no permeable

2) Calculado con THERM 7.3

El ATM se coloca siempre en el exterior, como mostrado en la ilustración abajo:



### **ATM, Horario-Activación**

El ATM se activa, cubriendo el acristalamiento solo cuando cumple con las siguientes condiciones:

1. Es de noche
2. La calefacción está activa

De esta manera se asegura que el ATM no interfiere con la captación de energía solar durante el día en invierno y no afecta en verano cuando las pérdidas de calor pueden ser útiles.

### **Calefacción, Tipo**

Toda la zona interior de la célula se calienta, cuando es necesario, por un sistema de calefacción radiante bajo el suelo usando biomasa como combustible.

### **Calefacción, Horario-Activación**

El objetivo es mantener siempre una temperatura interior entre 20-26 grados °C. En términos prácticos significa que la calefacción se pone activa si la temperatura interior se pone por debajo de 20 °C y se inactiva por encima de 26 °C.

## 5.1.2 Parámetros variables

*Los que se varía según cálculo específico*

**Condiciones climáticas**

La ubicación principal para los cálculos es Oslo, Noruega y se basa en datos climáticos de la estación meteorológica Oslo, Blindern.

DATOS CLIMÁTICOS, OSLO-BLINDERN	
<i>General</i>	
País	Noruega
Fuente	ASHRAE / IWECC
WMO	17920
Zona climática ASHRAE	6A
Clasificación Koppen	Dfb
Latitud	59,95
Longitud	10,72
Elevación	97,0
Presión estándar	100,2
<i>Zona horaria y ahorro de luz diurna</i>	
Zona horaria	GMT+01:00
Inicio de invierno	Octubre
Fin de invierno	Marzo
Inicio de verano	Abril
Fin de verano	Septiembre

En la tabla abajo se ve las temperaturas anuales en Oslo – Blindern. La primera fila, “Media” se basa en datos climáticos del periodo 1961-1990.

TEMPERATURA AÉREA, OSLO (°C)													
	Anual	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Media	5,7	-4,3	-4,0	-0,2	4,5	10,8	15,2	16,4	15,2	10,8	6,3	0,7	-3,1
Max.	29,8	4,6	10,1	21,5	14,9	29,8	23,8	25,1	26,9	23,0	16,2	10,6	4,7
Min.	-17,1	-11,3	-17,1	-3,2	-4,1	-1,3	4,9	9,5	7,3	1,3	-5,0	-4,9	-14,6

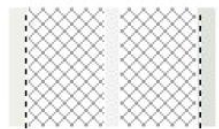


*Fig. 57 La temperatura del aire en Oslo. La temperatura media se basa en el promedio entre los años 1961-1990. Max. es la media de las temperaturas máximas. Min. es la media de las temperaturas mínimas.*

La ubicación principal para todos los cálculos es Oslo, excepto los cálculos 19-24, que se basan en distintas zonas climáticas. Las ubicaciones usadas en estos cálculos son: Oslo, Noruega (Blindern), Múnich, Alemania (Múnich) y Madrid, España (Barajas RS).



## Ventanas, Tipo de acristalamiento

Dependiendo del cálculo, el edificio tiene incorporado siempre uno de los siguientes acristalamientos:

A1	A2	A3
<p><i>Triple acristalamiento, capas bajo E, Argón</i></p>  <p>4E 15Ar 4 15Ar E4</p> <p><b>Valor Ug = 0,62</b>            Tr. Sol. (SHGC) = 43%            Tr. Luz = 60%</p>	<p><i>Doble acristalamiento, capa bajo E, Argón</i></p>  <p>4 15Ar E3</p> <p><b>Valor Ug = 1,44</b>            Tr. Sol. (SHGC) = 70%            Tr. Luz = 81%</p>	<p><i>Doble acristalamiento, Argón</i></p>  <p>4 15Ar 4</p> <p><b>Valor Ug = 2,59</b>            Tr. Sol. (SHGC) = 83%            Tr. Luz = 84%</p>

Para simplificar la referencia a diferentes sistemas de acristalamiento se utilizará la designación usada por SINTEF-Byggforsk- la entidad de investigación en la edificación en Noruega. La construcción del acristalamiento se designa así: los números indican el espesor del vidrio o bien cámara en mm, "Ar" y "Kr" indica el uso de gas en la cámara (respectivamente Argón y Kriptón), y "E" indica si hay capa bajo emisiva en el vidrio. El orden de la designación es el mismo que la construcción del acristalamiento. Por ejemplo, **4-15Ar-E4**, significa un acristalamiento doble con un vidrio normal de 4mm hacia el exterior, cámara de Argón de 15mm y en el interior, un vidrio de 4mm con capa bajo emisiva en la cara dando a la cámara.

El acristalamiento A1 representa un acristalamiento de alto rendimiento comúnmente usada en edificios pasivos en noruega hoy en día. Consta de 3 paneles de vidrio con 15mm de distancia entre ellos, relleno de argón y dos capas bajo E (marcadas con línea discontinua).

Opera con una transmitancia térmica baja ( $U_g=0,62 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) pero a cambio su coeficiente de ganancia solar (SHGC) es relativamente bajo (43%). Significa que mientras este acristalamiento es efectivo para reducir pérdidas de calor es relativamente ineficaz en captar la energía solar.

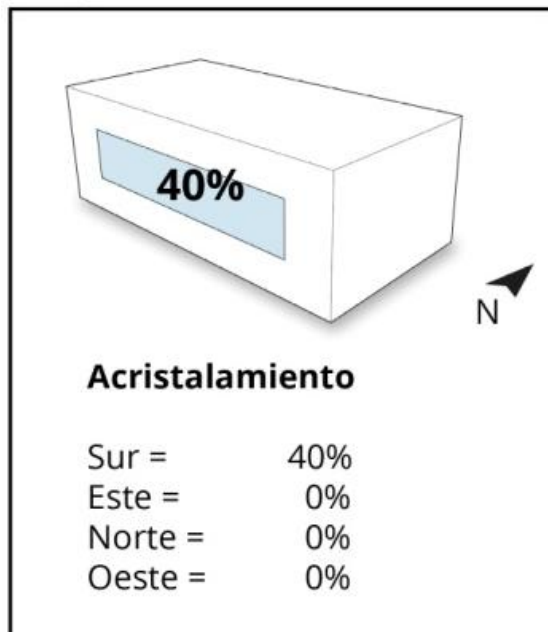
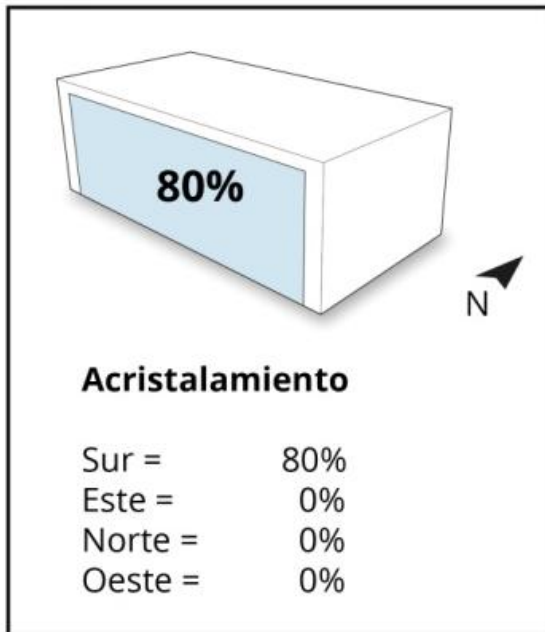
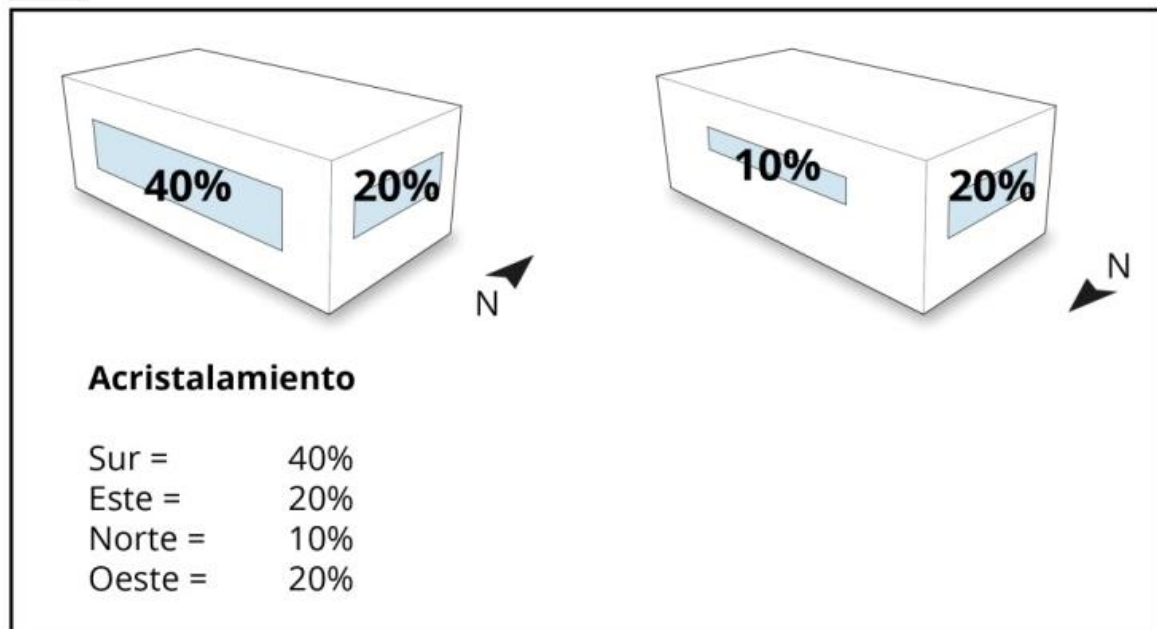
Su valor U, si se usa con un marco también de valor U baja permitirá cumplir con el requisito mínimo de valor  $U_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ , definido por Passivhaus Institut.

El acristalamiento A2 es el típico usado en una ventana "típica moderna" en Noruega. Es un doble acristalamiento con relleno de gas argón y una capa bajo E en el panel interior. La transmitancia térmica es "peor" que en el caso A1 ( $U_g=1,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) pero a cambio tiene un factor SHGC mucho mejor (70%), aumentado considerablemente las ganancias solares totales.

El último, el A3 representa un acristalamiento usado en la ventana "típica antigua" en Noruega. Su estructura es de doble vidrio con relleno de argón. Entre los tres, es el acristalamiento de valor  $U_g$  más alto pero también de SHGC más alto.

**Edificio, Superficie acristalada**

Se define como el porcentaje de superficie acristalada respecto a la superficie total de cada fachada. Estos valores son parámetros variables dependiente del cálculo y serán definidos en cada caso específico. Las 3 variaciones usadas en los cálculos son los siguientes:

**E1****E2****E3**

(Elaboración propia)

## 5.2 CALCULOS PRINCIPALES

Combinando los parámetros fijos en el capítulo anterior se hace un total de 18 cálculos, como listado abajo:

CÁLCULOS DE BALANCE ENERGÉTICO				
Cálculo	Edificio	Porcentaje de acristalamiento	Acristalamiento	Ubicación
1	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0% <sup>1</sup>	A1	Oslo (Blindern) <sup>2</sup>
2	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A2	Oslo (Blindern)
3	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A3	Oslo (Blindern)
4	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
5	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
6	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A3+ATM	Oslo (Blindern)
7	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A1	Oslo (Blindern)
8	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A2	Oslo (Blindern)
9	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A3	Oslo (Blindern)
10	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
11	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
12	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A3+ATM	Oslo (Blindern)
13	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A1	Oslo (Blindern)
14	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Oslo (Blindern)
15	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A3	Oslo (Blindern)
16	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
17	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
18	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A3+ATM	Oslo (Blindern)
19	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Oslo (Blindern)
20	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
21	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Múnich(Múnich)
22	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Múnich (Múnich)
23	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Madrid (Barajas RS)
24	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Madrid (Barajas RS)

1 S=Sur, E=Este, N=Norte, O=Oeste

2 En paréntesis: estación meteorológica

Volviendo a las preguntas o hipótesis expresadas al principio del capítulo, es importante tener en cuenta que los distintos cálculos son relacionados con ellas.

Las preguntas o hipótesis:

1. ¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción en un edificio?
2. ¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM en términos de demanda de calefacción en un edificio?
3. ¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?

Para responder a la pregunta 1 se basa en el edificio E3. Este edificio tiene acristalamiento en cada fachada con un porcentaje “moderado”, es decir, lo que se considera lo convencional en Noruega. Esto nos da resultados más aplicables a edificios reales.

Para responder a pregunta 2 se utiliza los edificios E1 y E2. En realidad, esta pregunta es una hipótesis que trata de ventanas captadoras, es decir ventanas que permitan ganancias solares significativas. Por eso se utiliza un edificio de cálculo con acristalamiento solo en el sur, “aislando” los resultados del rendimiento del acristalamiento captador, sin interferencias por parte de los otros acristalamientos no captadores.

A partir de los resultados de Designbuilder, se filtra y presenta lo más relevante para el ATM: el balance ganancias solares/pérdidas de calor y la demanda de energía para calefacción- ambos medidos en kWh/m<sup>2</sup>año.

El balance neto ganancias/pérdidas es el sumatorio de todas las ganancias solares y pérdidas de calor a través de las ventanas en la célula (únicamente a través de la ventana, no incluye paredes opacas, cubierta, etc.) Dicho con otras palabras, es la neta transferencia de calor a través de las ventanas.

La demanda de calefacción se define como la energía (solo para calefacción) suministrada al edificio necesario para mantener una temperatura interior dentro de la temperatura de confort predeterminada.

El periodo de cálculo se indica en la parte superior del cuadro de cada resultado.

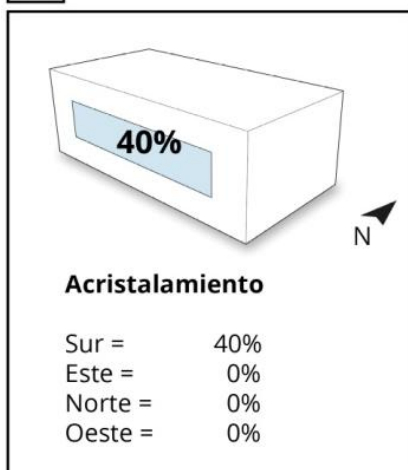
El periodo de cálculo es un año para la demanda de calefacción, mientras que para el balance ganancias/pérdidas, el periodo de cálculo es solo la temporada de calefacción: 1. Octubre – 15. Abril.

## 5.2.1 Cálculo Edificio E1

Hipótesis:

*¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM?*

**E1**



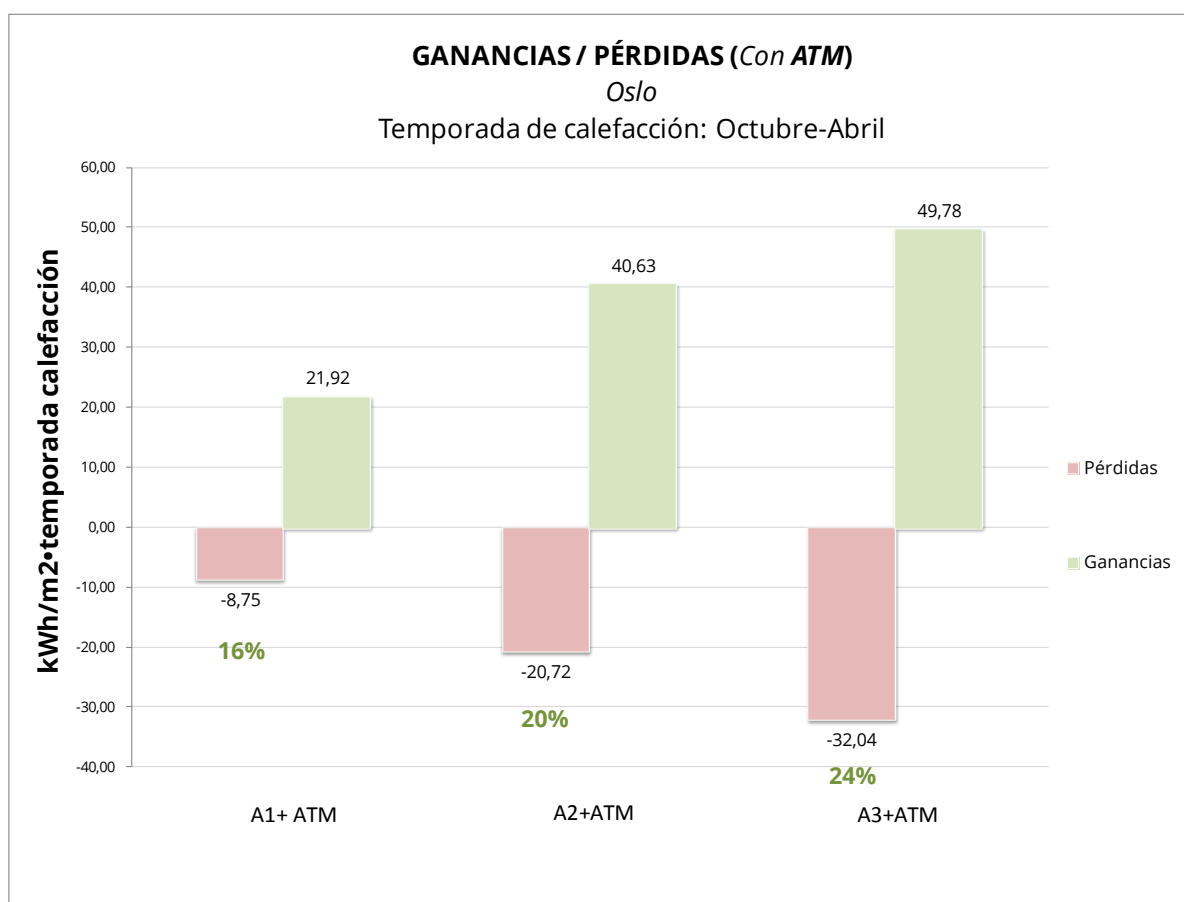
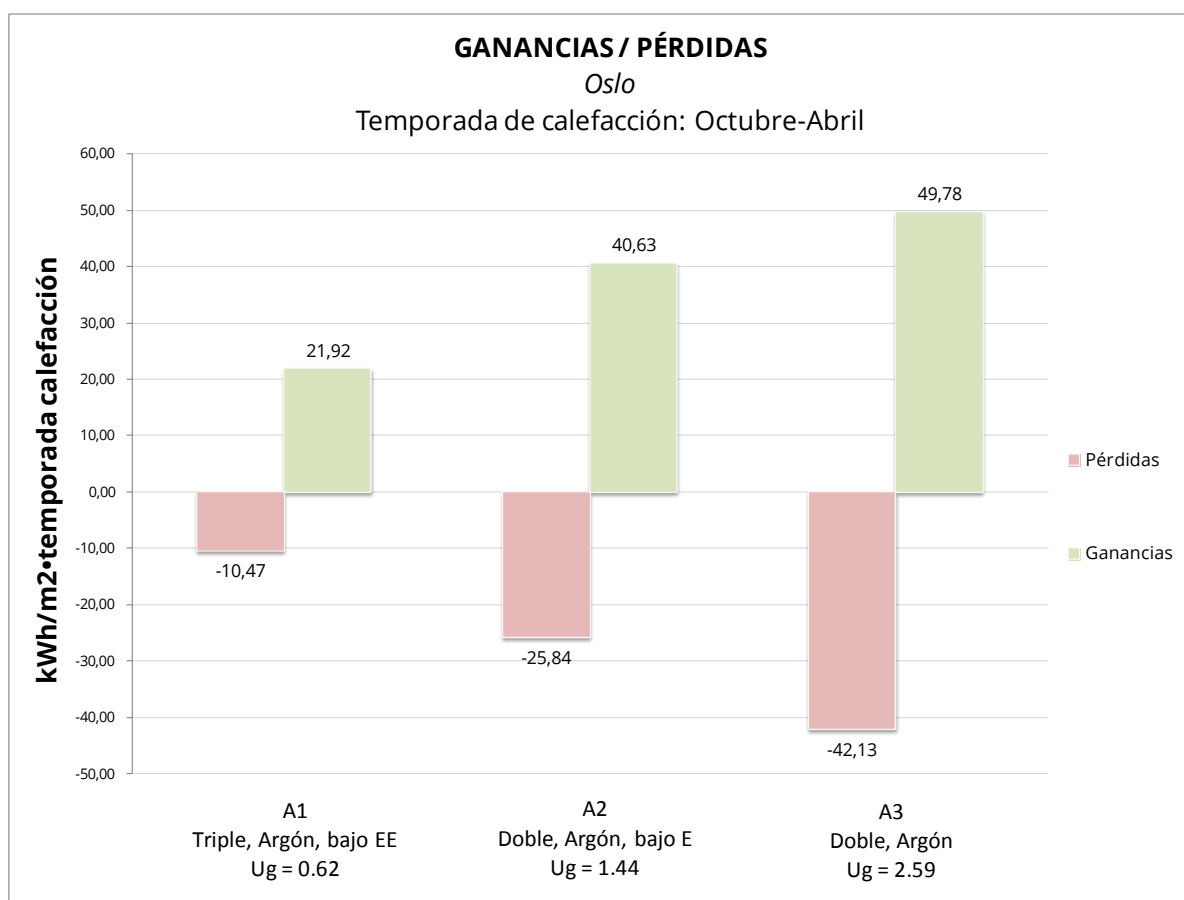
Aquí se presenta los resultados respecto al Edificio 1 (E1). Esta célula opera con acristalamiento solamente en la fachada sur, con una superficie acristalada de 40%, lo que se considera moderado y relativamente convencional.

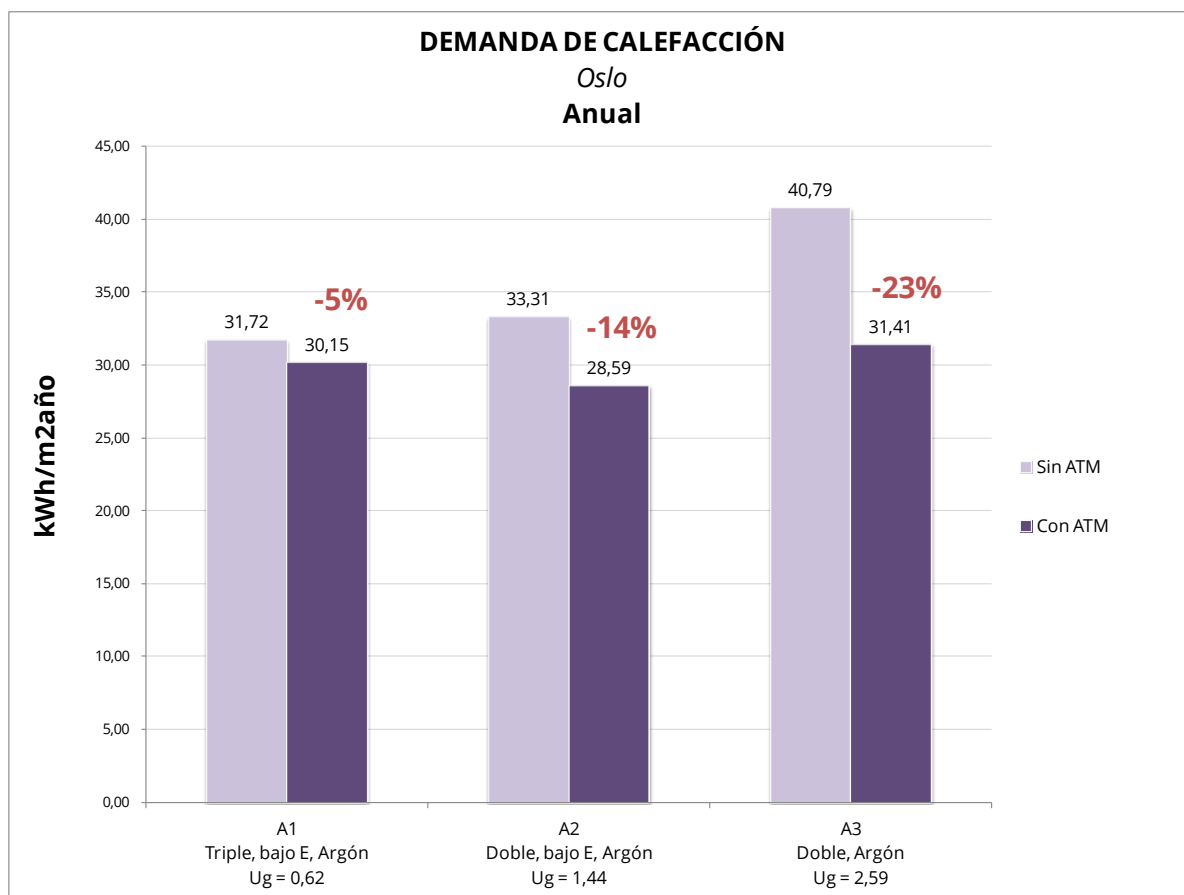
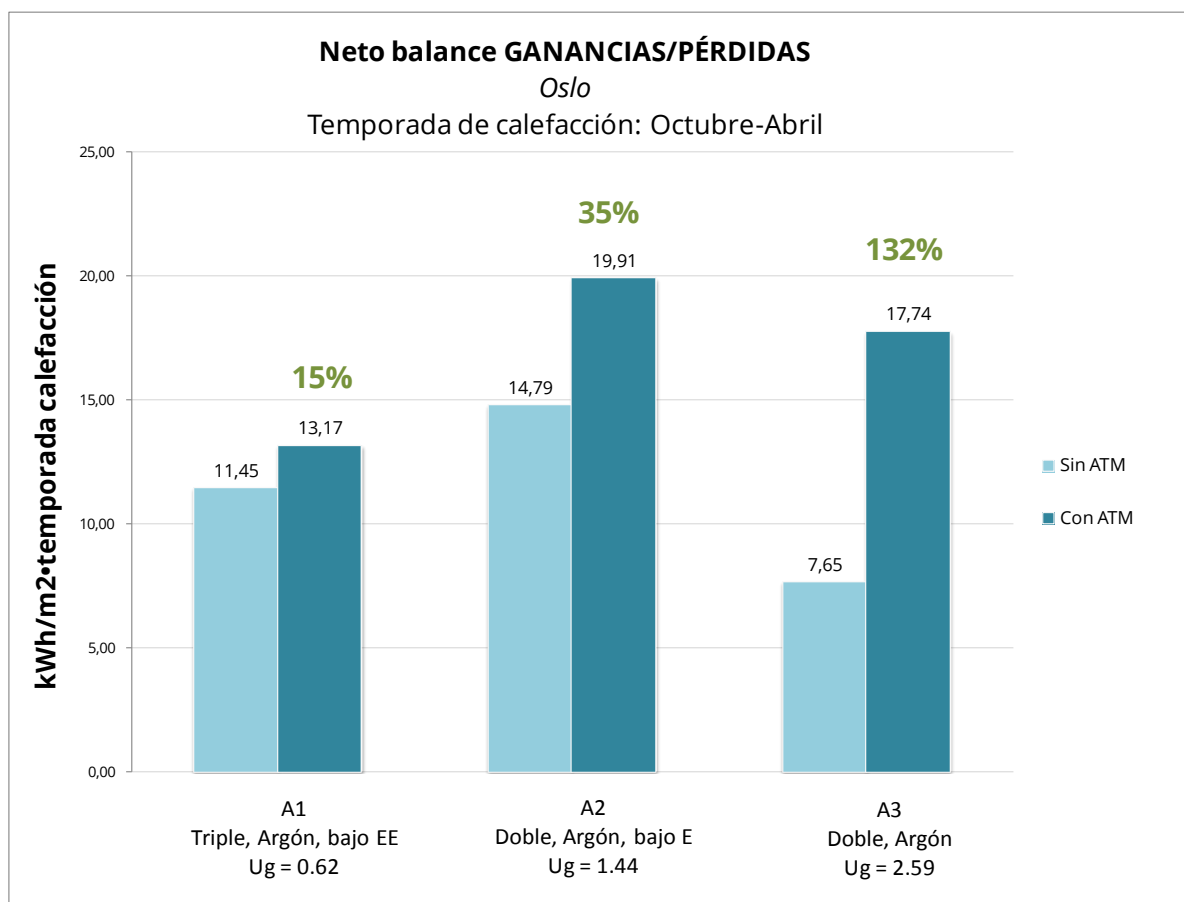
Aparte de los parámetros variables listados en el cuadro inferior, todos los parámetros usados en estos cálculos están definidos en el subcapítulo 5.1.1 "Parámetros fijos".

Con el Edificio 1 se han realizado los siguientes cálculos:

CÁLCULOS DE BALANCE ENERGÉTICO, EDIFICIO 1				
Cálculo	Edificio	Porcentaje de acristalamiento	Acristalamiento	Ubicación
1	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0% <sup>1</sup>	A1	Oslo (Blindern) <sup>2</sup>
2	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A2	Oslo (Blindern)
3	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A3	Oslo (Blindern)
4	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
5	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
6	E1	S=40%, E=0%, N=0%, O=0%	A3+ATM	Oslo (Blindern)

## Resultados Edificio E1:





## Conclusiones intermedias Edificio E1

---

### Balance Ganancias/Perdidas

Lo primero que se ve en cuadro 1 y 2 es que tanto las pérdidas como las ganancias se aumentan linealmente cuando pasamos del acristalamiento de alto rendimiento (A1) al típico antiguo (A3). Esto no es ninguna sorpresa porque el valor U y factor SHGC se aumenta y reduce respectivamente con el mismo ritmo lineal.

Como anticipaba, se ve en el cuadro 3 (turquesa) que el ATM siempre tiene un efecto positivo (más ganancias=mejor) en el balance, es decir que en cada uno de los tres acristalamientos las ganancias netas siempre son mayores con un ATM que sin. Esto se ve claro en los cuadros a la izquierda donde el ATM siempre tiene impacto sobre las pérdidas mientras que no influye en las ganancias porque está activado solo durante la noche, cuando no hay sol.

Además, se ve que la repercusión del ATM en porcentaje aumenta con cada paso de A1 a A3. La repercusión del ATM sobre el balance neto es de 15% para el A1, 35% para el A2 y 132% para el A3.

Sin embargo, lo más interesante con respecto a la hipótesis al principio del capítulo son los valores reales de las distintas opciones. Las distintas soluciones se presentan en este orden, donde 1=mejor y 6=peor:

1. **A2+ATM**
2. A3+ATM
3. A2
4. A1+ATM
5. A1
6. A3

El ganador definitivo es el A2+ATM, que permite unos **74%** más ganancias solares que el A1 y **51%** más que el A1+ATM. Lo que quizás es más sorprendente es que el segundo premio no va al A1, sino al A3+ATM (típico antiguo pero con ATM). Esta solución se comporta un **55%** mejor que el A1 y **35%** mejor que el A1+ATM.

Con cierta sorpresa se ve que también el A2, incluso sin ATM permite más ganancias netas que el A1 y A1+ATM.

### Demanda de calefacción

La demanda de calefacción se define como la energía total suministrada al edificio necesario para mantener una temperatura interior dentro de la temperatura de confort predeterminada.

Aunque el balance neto ganancias/pérdidas nos da una visión global muy clara sobre la transferencia de calor a través de la ventana es todavía una medida muy abstracta respecto a la vida real.



Al final es la demanda de calefacción que es la medida más relevante porque es fácilmente comparable en términos económicos. Además, hemos visto en el capítulo 2.1.1 que con respecto al balance ganancias/pérdidas hay que considerar el factor de utilización. Esto significa que todas las ganancias netas no siempre son útiles. De menudo podría ser que se cubre la demanda de calefacción con solo una proporción parcial de las ganancias, y el resto se vuelve redundante. Otra situación inevitable y que pasa cada día de la temporada de calefacción es cuando la demanda de calefacción en un momento del día no corresponde con la disponibilidad de ganancias solares (esto se trata de almacenamiento y desfase del calor solar).

En el Cuadro 4 se ve que los resultados finales de la demanda de calefacción no son proporcionales al balance ganancias/pérdidas. Hay que añadir que en estos resultados, tratándose de energía suministrada sigue que menos energía=mejor.

En general se ve en cada acristalamiento que la repercusión del ATM es menor.

En el A1, la repercusión es de solo **-5%**, en el A2 es de **-14%** y **-23%** para el A3. Son todas reducciones más modestas respecto al balance ganancias/pérdidas.

En valores reales, el orden se ha cambiado:

1. **A2+ATM**
2. A1+ATM
3. A3+ATM
4. A1
5. A2
6. A3

En general se ve que las márgenes son menores y más importante: que las soluciones con ATM siempre dominan. El ganador sigue ser el A2+ATM, exigiendo unos **10%** menos de energía para calefacción que el A1 y **5%** menos que el A1+ATM.

Aunque tiene un factor SHGC alto, el A3 es siempre peor en cada de los cuadros.

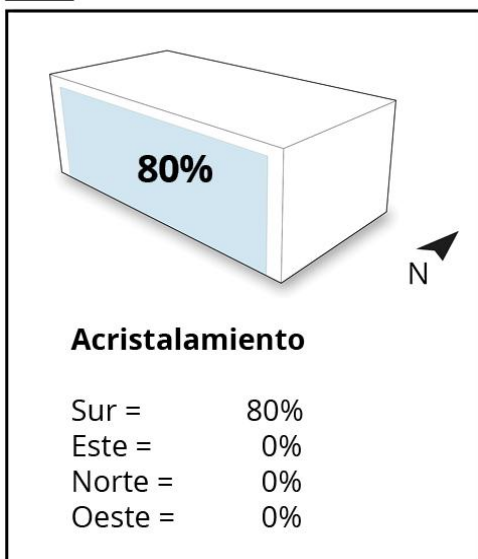


## 5.2.2 Cálculo Edificio E2

Hipótesis:

*¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM?*

**E2**



El objetivo de este cálculo es el mismo que en el edificio E1, responder a la pregunta del encabezamiento.

El edificio E2, presentado aquí opera también con acristalamiento solamente en la fachada sur, pero con una superficie acristalada de 80%- el doble de Edificio 1 y lo que se considera "extensamente" acristalado.

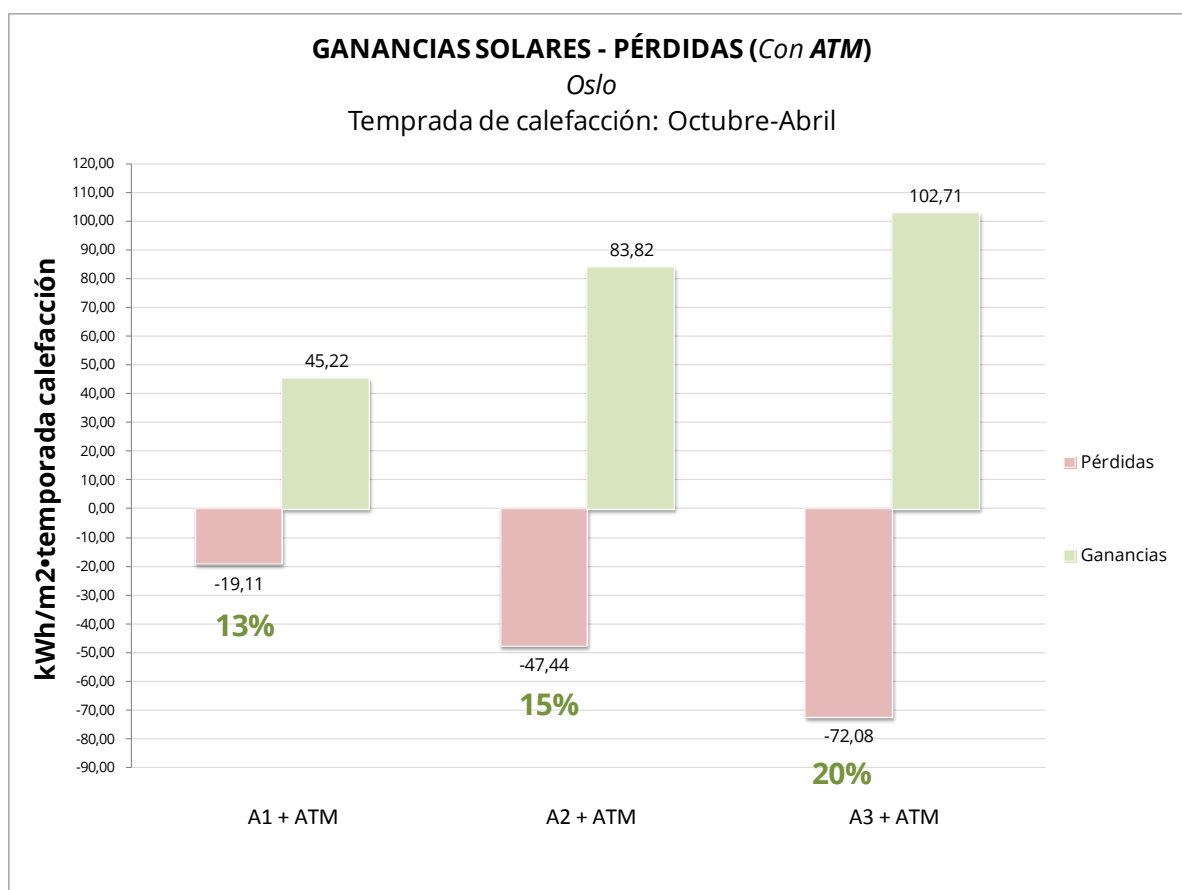
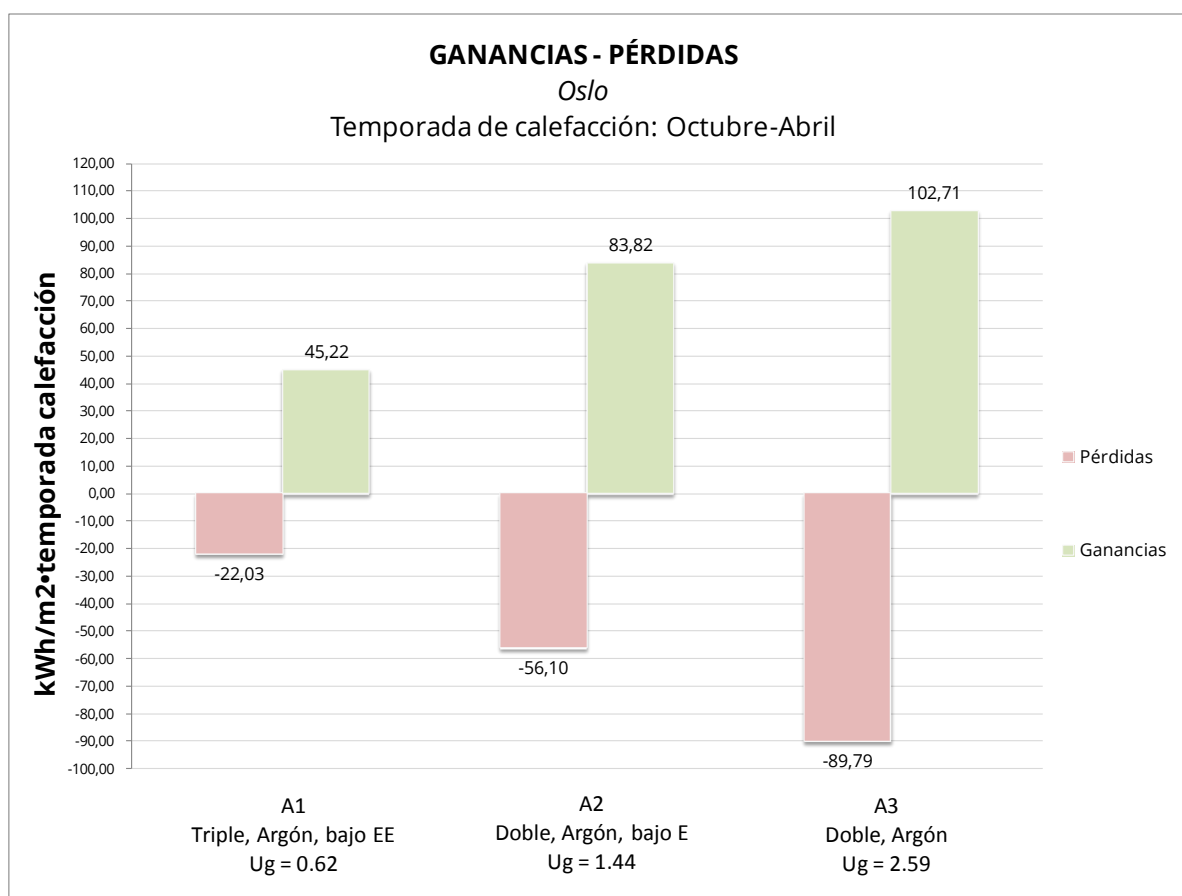
El objetivo concreto de este cálculo será simular un edificio "contemporáneo", en que el uso extensivo de acristalamiento es cada vez más común.

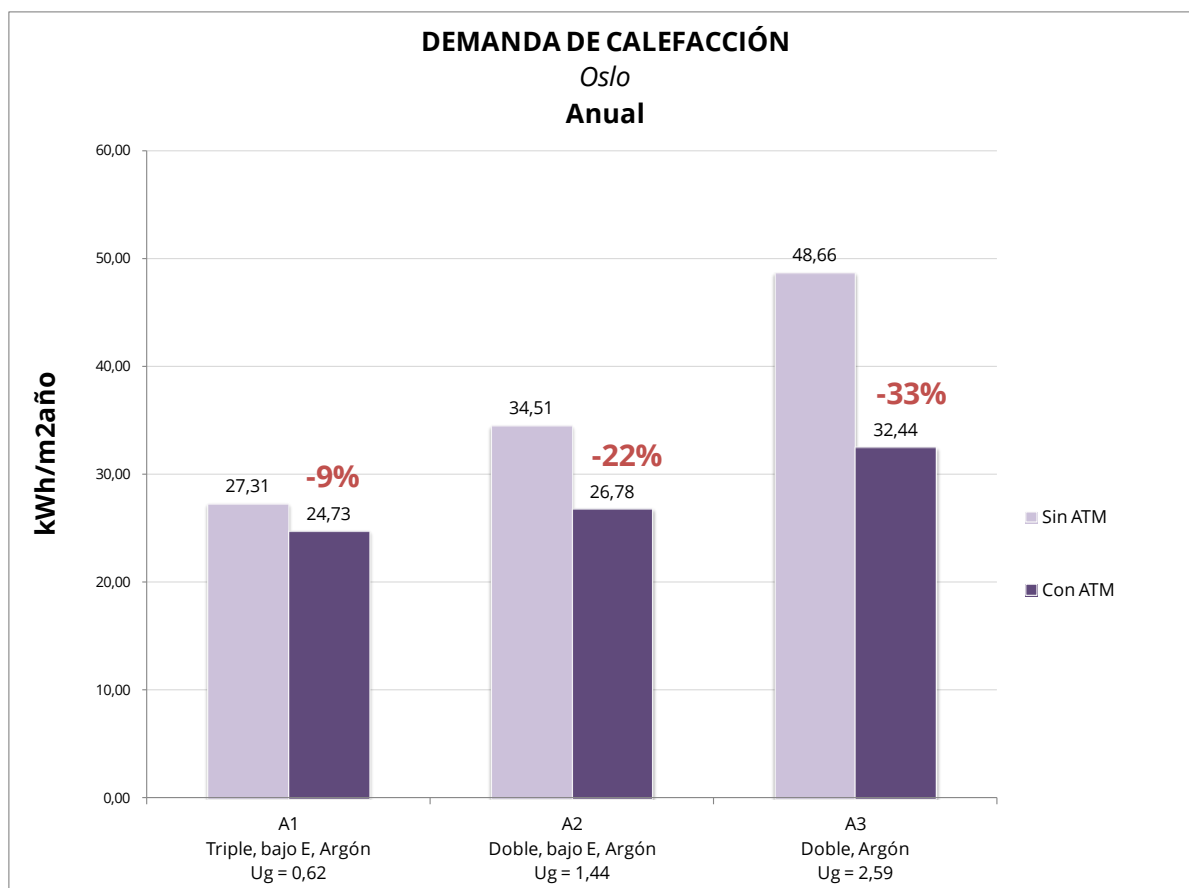
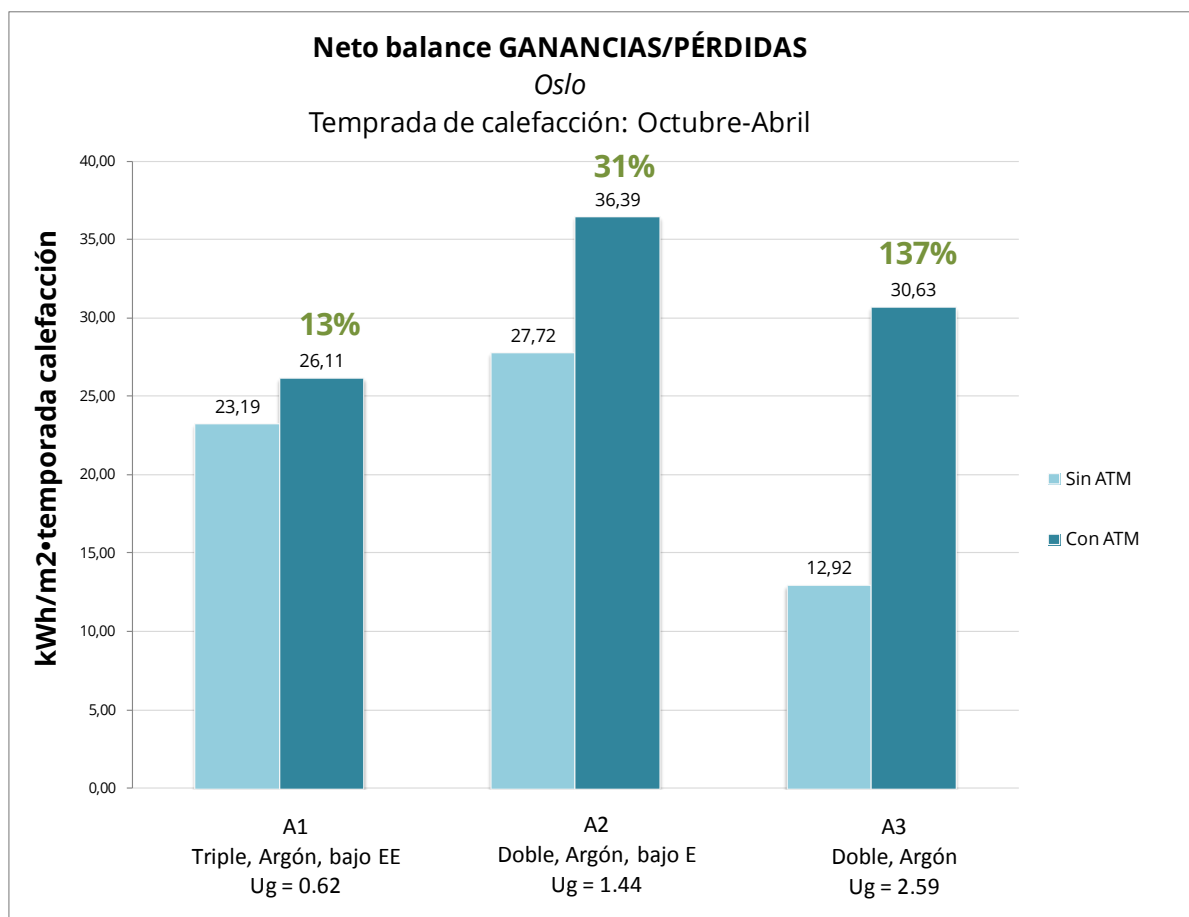
Aparte de los parámetros variables listados en el cuadro inferior, todos los parámetros usados en estos cálculos están definidos en el subcapítulo 5.1.1 "Parámetros fijos"

Con el Edificio 2 se han realizado los siguientes cálculos:

CÁLCULOS DE BALANCE ENERGÉTICO				
Cálculo	Edificio	Porcentaje de acristalamiento	Acristalamiento	Ubicación
7	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A1	Oslo (Blindern)
8	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A2	Oslo (Blindern)
9	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A3	Oslo (Blindern)
10	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
11	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
12	E2	S=80%, E=0%, N=0%, O=0%	A3+ATM	Oslo (Blindern)

## Resultados Edificio E2:





## Conclusiones intermedias Edificio E2

---

### Balance Ganancias/Perdidas

Las proporciones entre las 6 soluciones son más o menos las mismas que en el Edificio 1, aunque los valores reales naturalmente son más altos debido al aumento en superficie acristalada.

La repercusión del ATM sobre el balance neto es de **13%** para el A1, **33%** para el **A2** y se ve la misma repercusión brutal de **137%** para el A3. Es un poco sorprendente que la repercusión para el A1 y A2, de hecho, se ha reducido un poco respecto al Edificio 1.

### Demanda de calefacción

Con respecto al Edificio 1, la repercusión del ATM se ha aumentado en cada caso. Es de -9% para el A1, -22% para el A2 y de -33% para el A3.

En valores reales las proporciones se han cambiado drásticamente y el orden ahora se ve así:

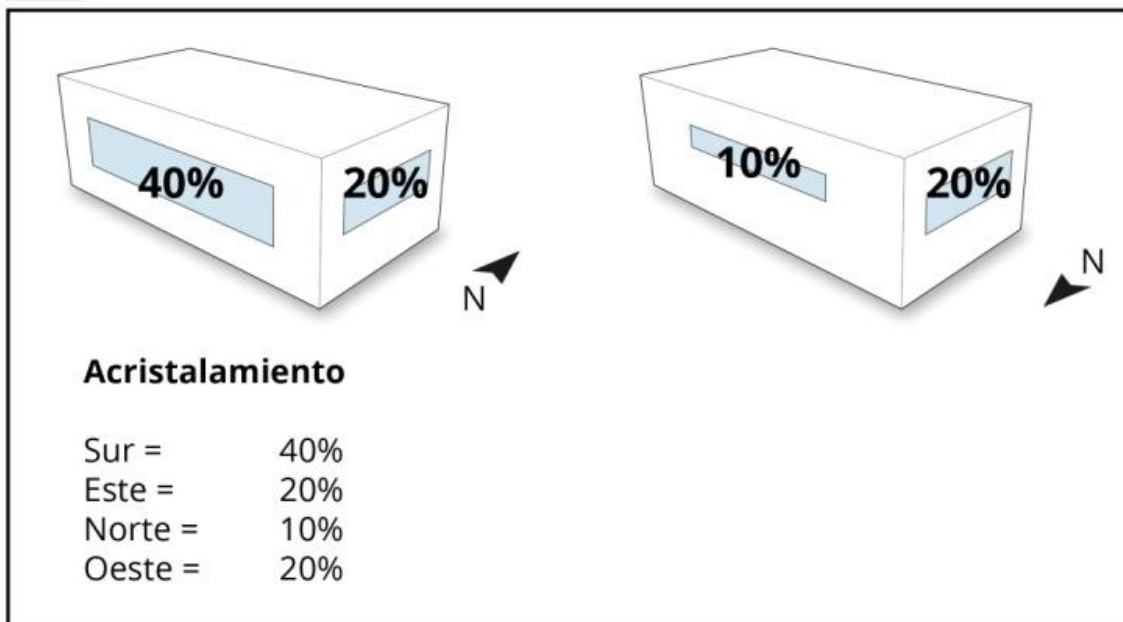
1. **A1+ATM**
2. A2+ATM
3. A1
4. A3+ATM
5. A2
6. A3

El ganador es ahora la solución A1+ATM, seguido por A2+ATM y A1. Sin embargo, el A2+ATM sigue siendo mejor que el A1, aunque solo con un margen del **2%**.

## 5.2.3 Cálculo Edificio E3

**Hipótesis:**

*¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción?*

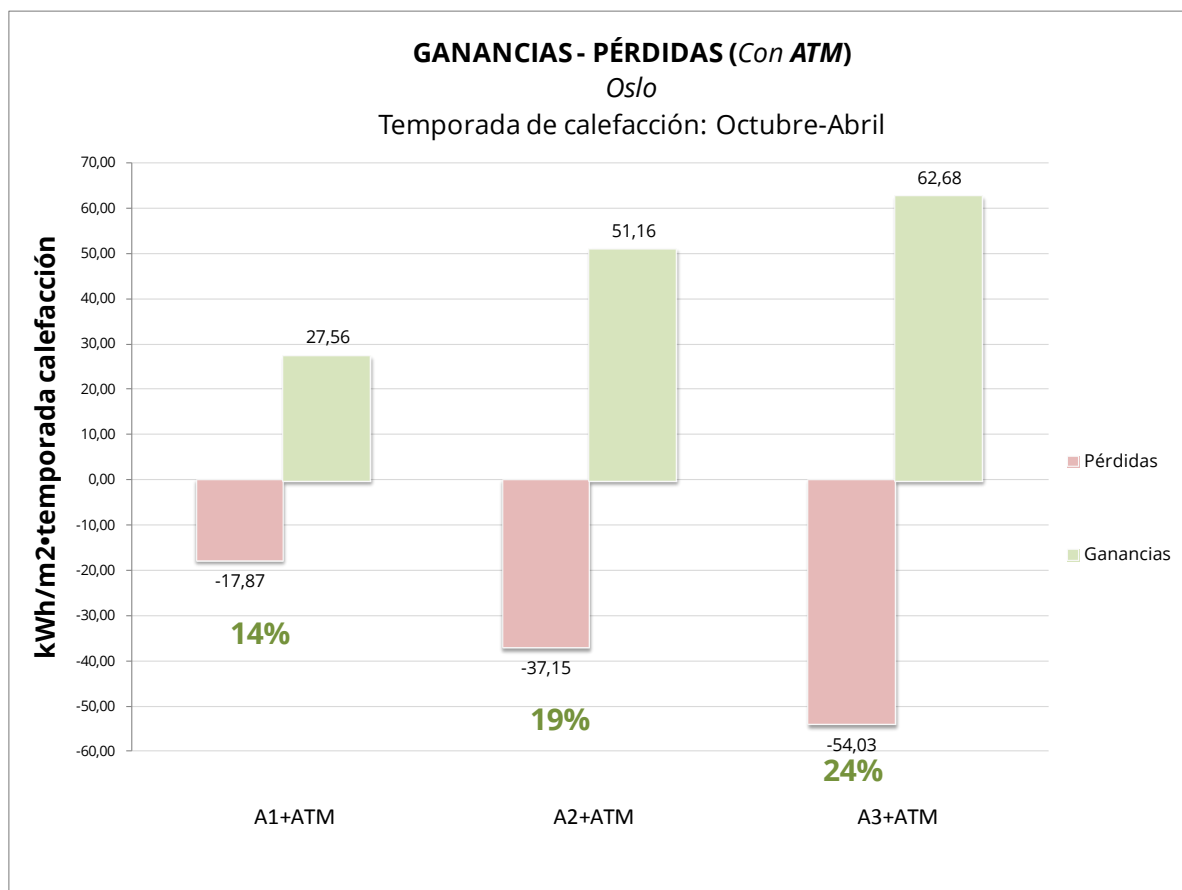
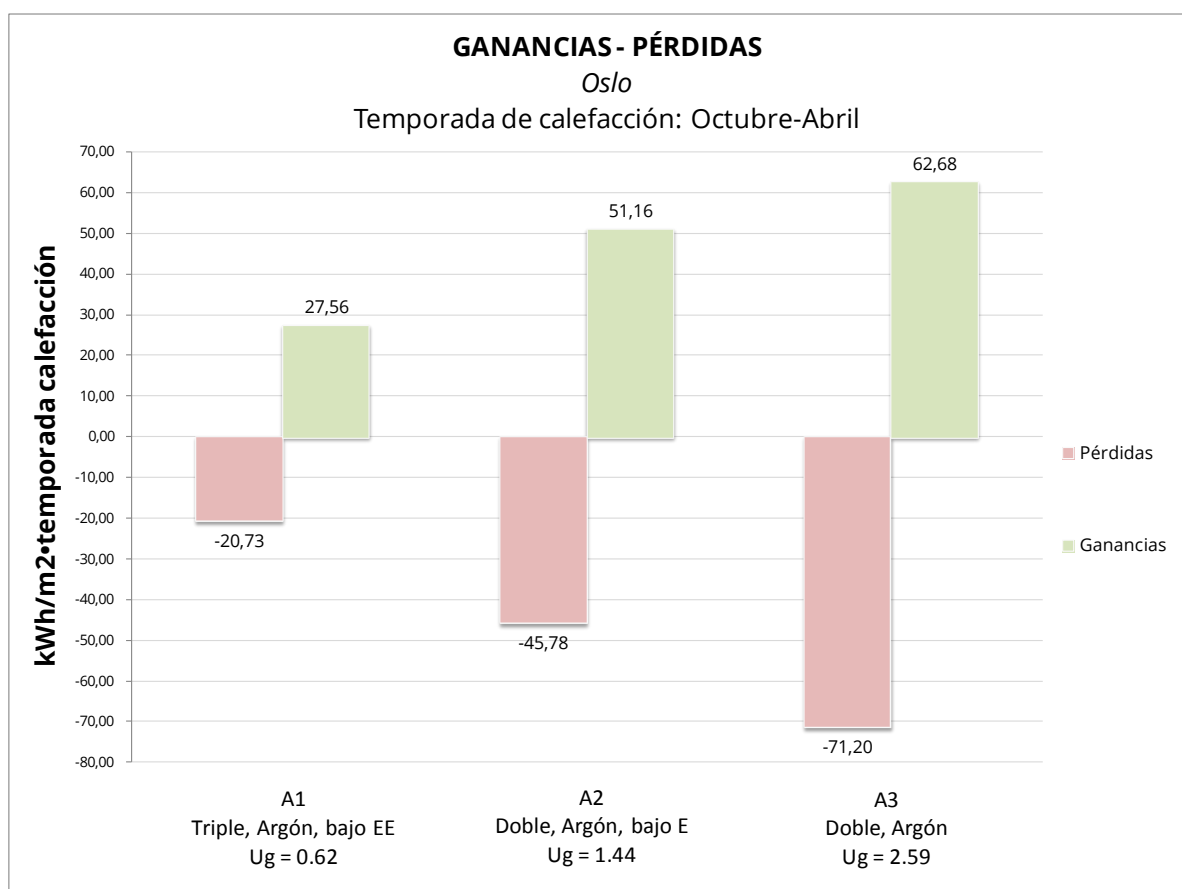
**E3**

El objetivo específico de este cálculo será intentar dar respuesta a la pregunta a la pregunta del encabezamiento. Este edificio opera con acristalamiento en cada fachada y con los porcentajes ilustrados en el cuadro de arriba. La distribución y porcentaje del acristalamiento se considera moderada y parecido a lo que convencionalmente se encuentra en casas en Noruega.

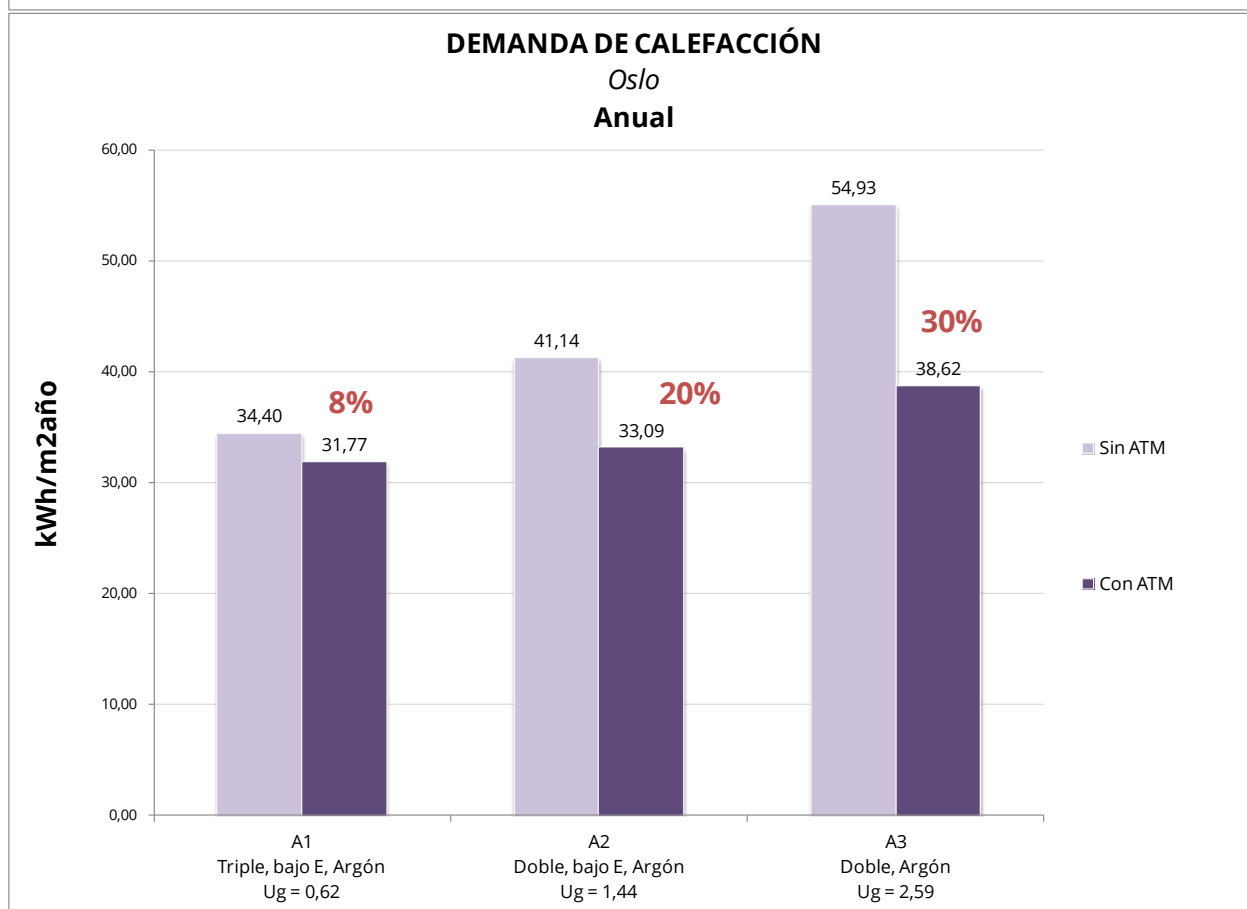
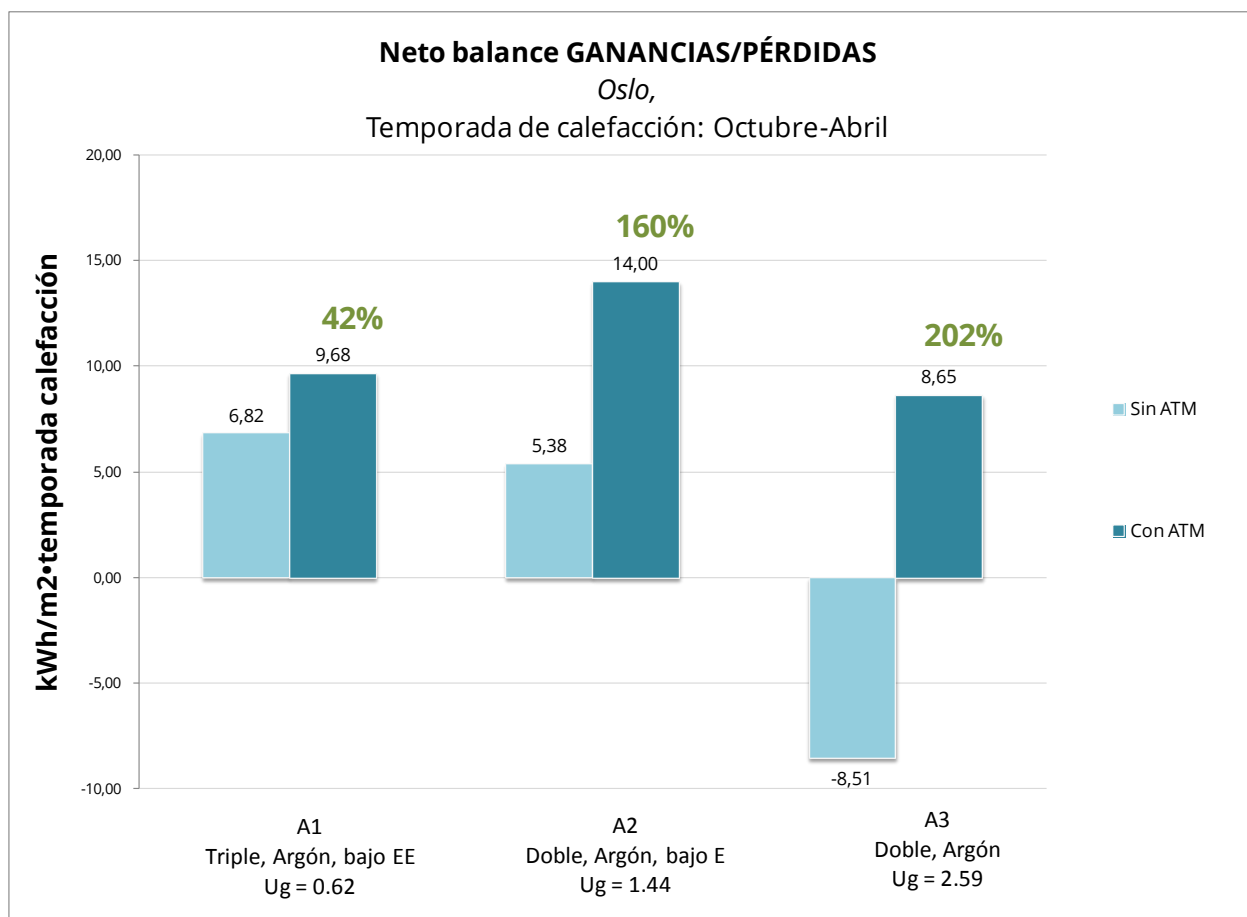
Aparte de los parámetros variables listados en el cuadro inferior, todos los parámetros usados en estos cálculos están definidos en el subcapítulo 5.1.1 "Parámetros fijos"

Con el Edificio 3 se han hecho los siguientes cálculos:

CÁLCULOS DE BALANCE ENERGÉTICO, EDIFICIO 3				
Cálculo	Edificio	Porcentaje de acristalamiento	Acristalamie	Ubicación
13	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A1	Oslo (Blindern)
14	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Oslo (Blindern)
15	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A3	Oslo (Blindern)
16	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A1+ATM	Oslo (Blindern)
17	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
18	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A3+ATM	Oslo (Blindern)

**Resultados Edificio E3:**





### Conclusiones intermedias Edificio 3

---

#### Balance Ganancias/Perdidas

Lo que es importante tener en cuenta de este edificio con acristalamiento en cada fachada es que las ventanas en el norte, oeste y este son de pocas ganancias solares. Cuando se mueve del acristalamiento A1 a A3 el valor U se empeora mientras que el factor SHGC se mejora. En los otros edificios que tienen ventanas solo en el sur (captadoras), esto significa que las pérdidas se aumentan casi proporcionalmente con las ganancias.

Por otro lado, en este edificio que tiene ventanas tanto en el sur (captadora) como en el norte, oeste y este (no considerados como captadoras) las pérdidas se aumentan mientras que las ganancias no se aumentan en la misma medida. En el balance, que es la suma ganancias/pérdidas esto lleva a una tendencia para los acristalamiento sin ATM, de que moviéndose de A1 a A3, en cada paso, el resultado empeora. El A3, presenta, por primera vez hasta ahora un balance negativo- significando que las pérdidas son más grandes que las ganancias.

Significa también que este edificio presenta, a nivel global, peores resultados que el edificio E1 y E2.

Sin embargo, hay que añadir que este edificio con su distribución de acristalamiento es lo más “realista”, mientras que los otros son más abstractos, diseñados para responder a otra hipótesis. Con estos cálculos, el objetivo es simplemente investigar cual será el impacto de un ATM sobre un edificio más realístico.

Con respecto a los otros edificios, la repercusión del ATM es mucho más significativa en este. La repercusión del ATM sobre el balance neta es de **42%** para el A1, **160%** para el A2 y **202%** para el A3. En el A3, las ganancias netas son justo un poco más del doble con el ATM- una repercusión enorme.

#### Demanda de calefacción

Como anticipaba, las repercusiones se aumentan con cada paso hacia la derecha confirmando la hipótesis repetida en este trabajo: que la repercusión del ATM se aumenta cuanto menor sea el valor U del acristalamiento a que se le aplica.

La repercusión del ATM sobre la demanda de calefacción con el A1 es de **8%**, una reducción modesta, sin embargo, un poco más de lo esperado. Para el A2 y A3 la repercusión es de **20** y **30%**, respectivamente. En números reales significa una reducción respectivamente de **8,0** y **16,3 kWh/m<sup>2</sup>año**. Es una reducción notable considerando que la demanda promedio de energía total en hogares en Noruega es de 185 kWh/m<sup>2</sup>año.<sup>24</sup> (Se desconoce la demanda de calefacción aislada del global.)

En números reales, se ve lo mismo que en el balance ganancias/pérdidas: que la demanda de calefacción es más alta en este edificio que en E1 y E2, lo cual es lógico porque tiene más acristalamiento.

---

<sup>24</sup> "Energibruk per m2 boligareal, 2 siste år i kWh" (SSB, 2014)

Respecto a la mejor solución global, el orden es:

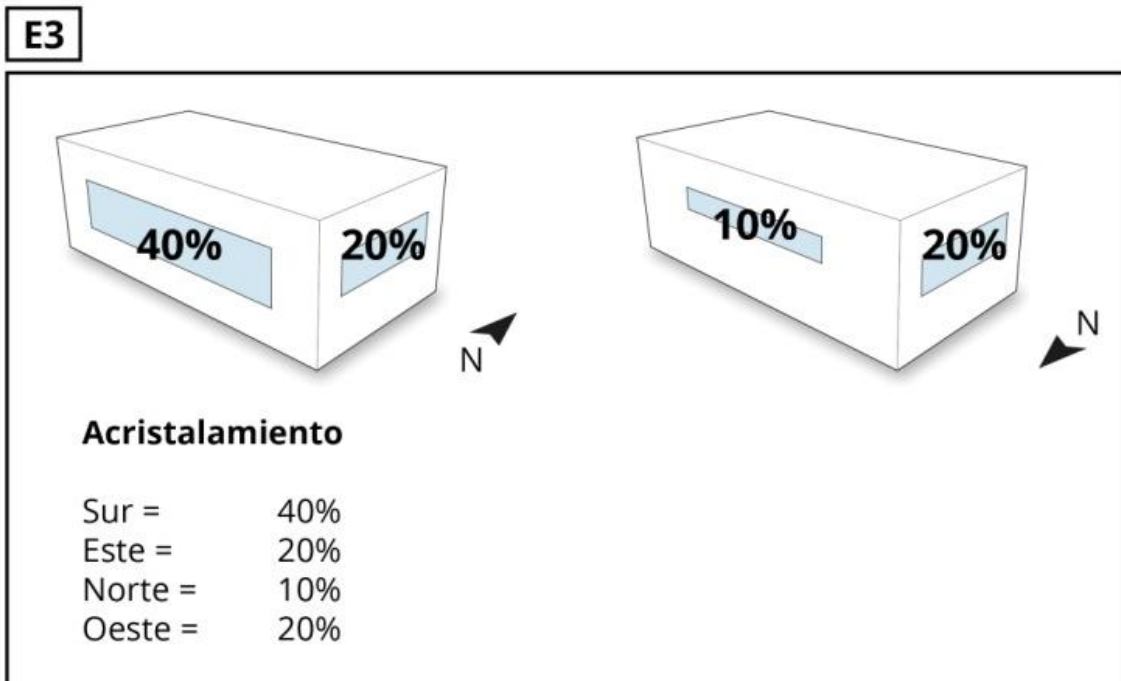
1. **A1+ATM**
2. A2+ATM
3. A1
4. A3+ATM
5. A2
6. A3

No sorprende que el ganador es el A1+ATM. Lo que es más sorprendente es que el A2+ATM sigue venciendo al A1, aunque solo con un **4%**.

## 5.2.4 Cálculo Edificio E3 - Distintas zonas climáticas

**Hipótesis:**

*¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?*



El objetivo de este cálculo será intentar dar respuesta a la pregunta de en que zonas climáticas tiene más potencial el ATM. Para comprobar se utiliza el Edificio E3, con datos como la mostrada en el cuadro superior. Los parámetros variables son la ubicación geográfica y la opción sin/con ATM.

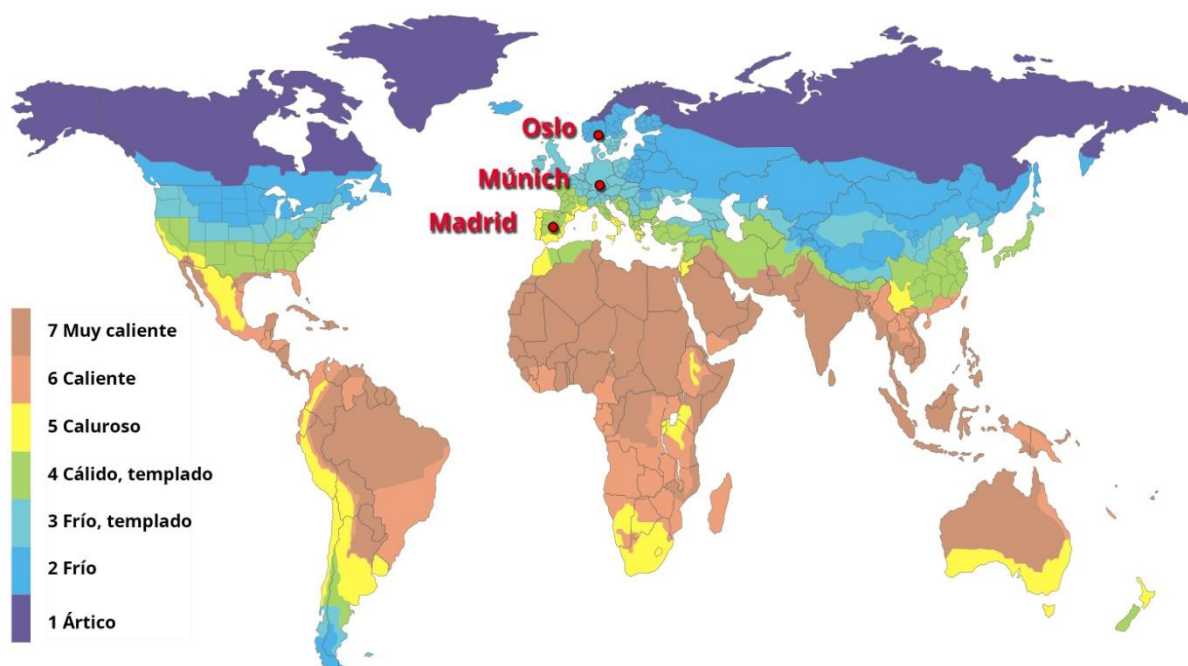


Fig. 58 Zonas climáticas, (PassivHaus Institut, 2015)

Las ciudades han sido elegidas porque están en distintas zonas climáticas según la zonificación de PassivHaus Institut.

Oslo, siempre la ubicación de referencia está situado en la zona climática “Frío”. Múnich está en la zona climática “Frío, templado” y Madrid en “Cálido, templado”. Juntos, representan un espectro de condiciones climáticas apropiado para ver la diferencia en el impacto del ATM en porcentaje y valores reales.

Aparte de los parámetros variables listados en el cuadro inferior, todos los parámetros usados en estos cálculos están definidos en el subcapítulo 5.1.1 “Parámetros fijos”

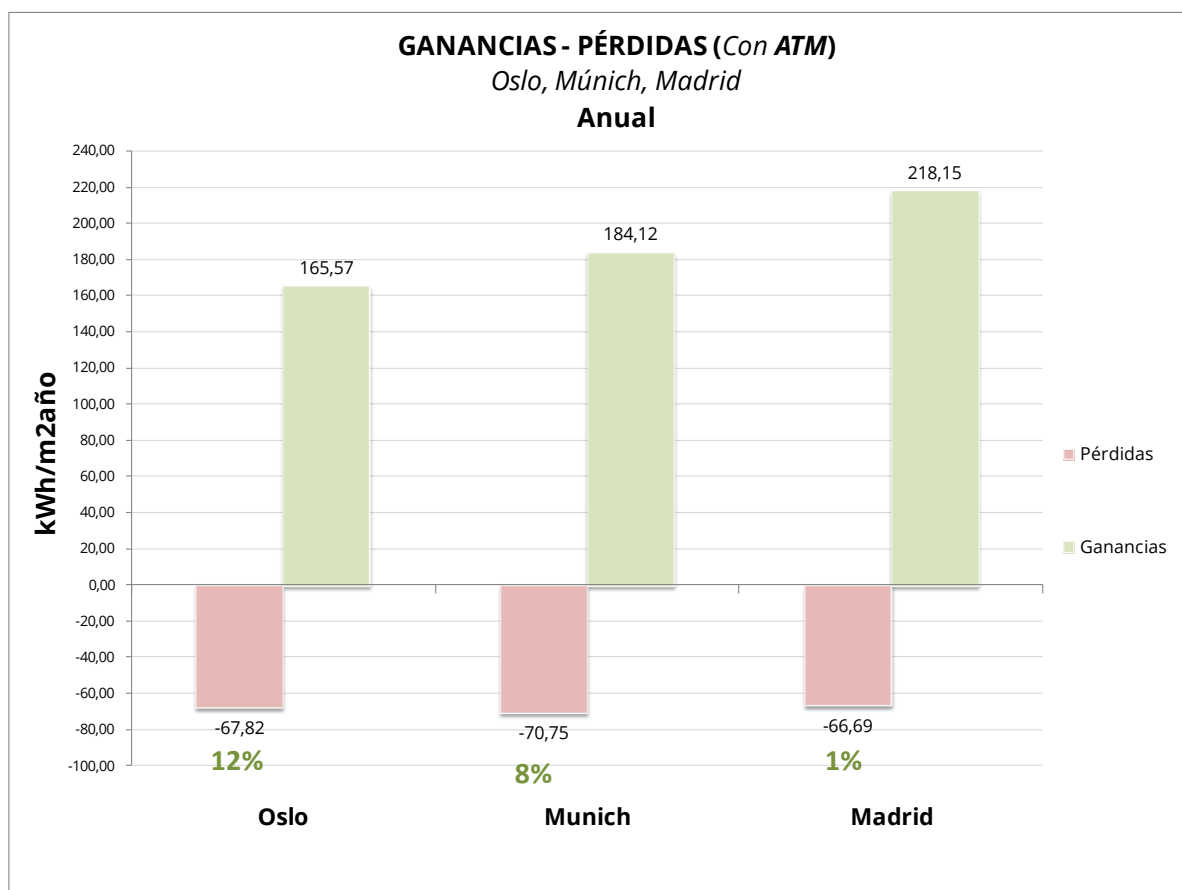
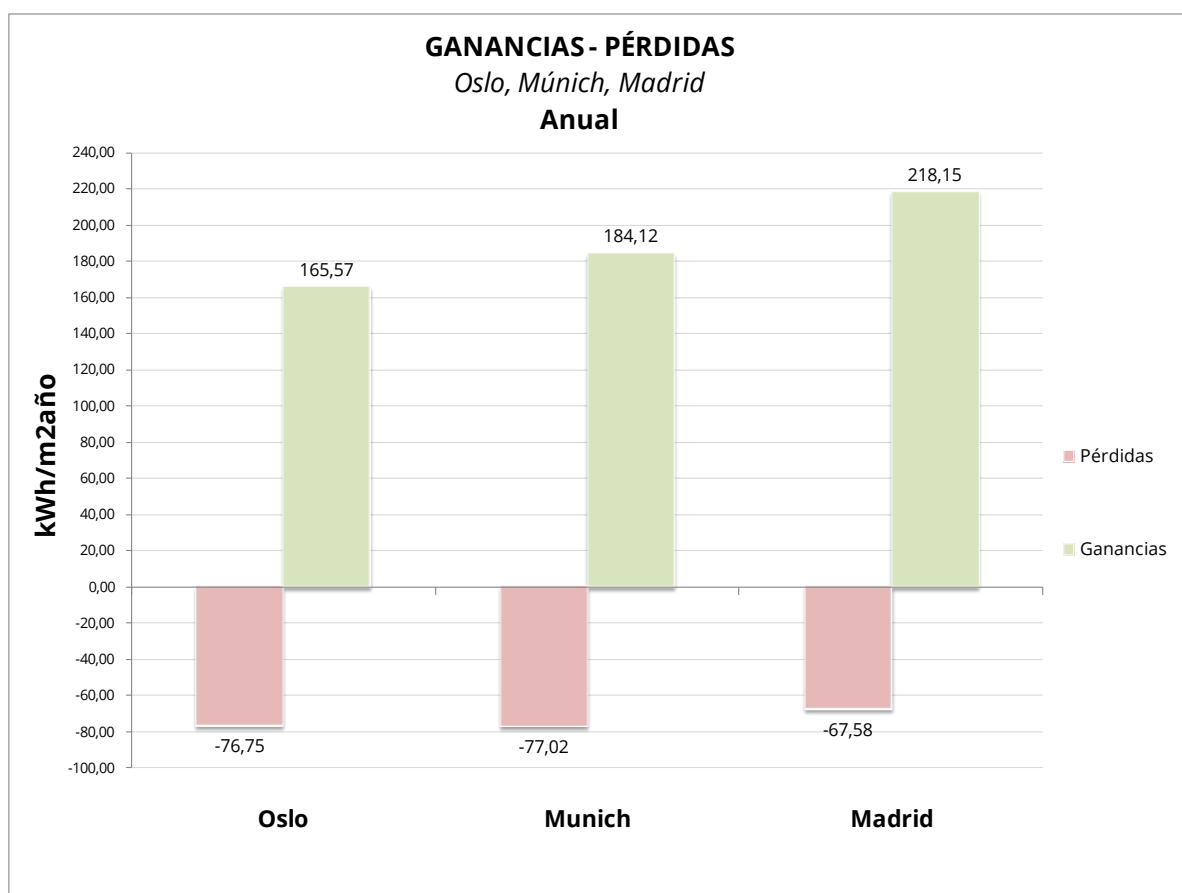
Con el Edificio 3 se han realizado los siguientes cálculos:

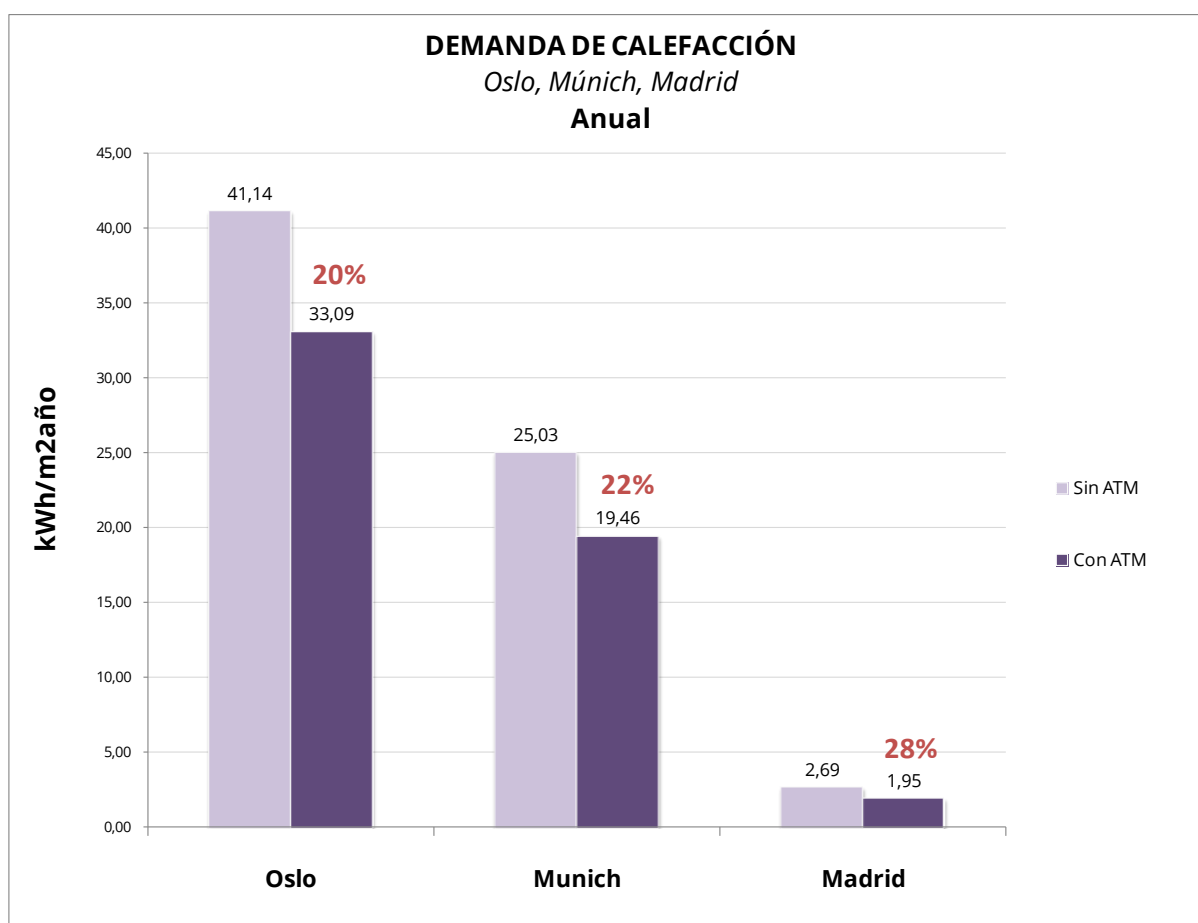
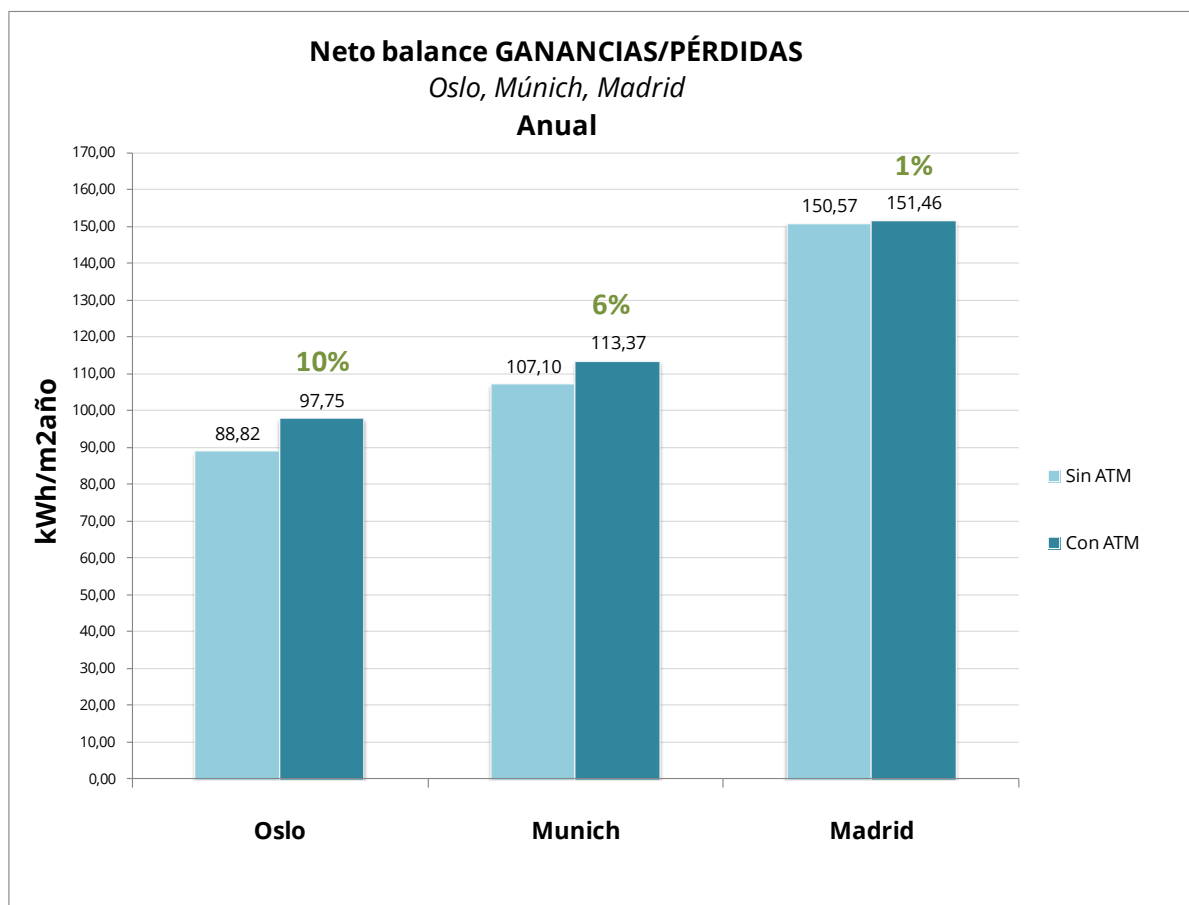
<b>CÁLCULOS DE BALANCE ENERGÉTICO, EDIFICIO E3 – DISTINTAS ZONAS CLIMÁTICAS</b>				
Cálculo	Edificio	Porcentaje de acristalamiento	Acristalamiento	Ubicación
19	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Oslo (Blindern)
20	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Oslo (Blindern)
21	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Múnich(Múnich)
22	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Múnich (Múnich)
23	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2	Madrid (Barajas RS)
24	E3	S=40%, E=20%, N=10%, O=20%	A2+ATM	Madrid (Barajas RS)

### **¡NB!**

En estos cálculos, la diferencia importante con respecto a los realizados en el subcapítulo anterior es el periodo de cálculo. En estos cálculos, el periodo de cálculo es siempre un año, por la razón de que la temporada de calefacción es diferente en las ubicaciones distintas.

## Resultados





### **Conclusiones intermedias Edificio E3 - Distintas zonas climáticas:**

---

#### **Balance Ganancias/Perdidas**

En este cálculo el balance ganancias/pérdidas se basa en un periodo de cálculo anual, no de la temporada de calefacción como los otros.

Como que el ATM solo tiene impacto sobre las pérdidas de calor en el invierno mientras que las ganancias se dejan intactas a lo largo del año, la repercusión del ATM sobre el balance neta ganancias/pérdidas es ahora, naturalmente menos significativa.

Se ve que las ganancias netas se aumentan cuando se mueve a través del cuadro, de Oslo a Madrid. Esto es lógico porque cuando se mueve hacia el sur, la radiación solar es más fuerte y durante más tiempo.

La repercusión del ATM, por otro lado, se disminuye con el mismo ritmo.

La repercusión es de **10%** en Oslo, **6%** en Múnich y **1%** en Madrid.

#### **Demanda de calefacción**

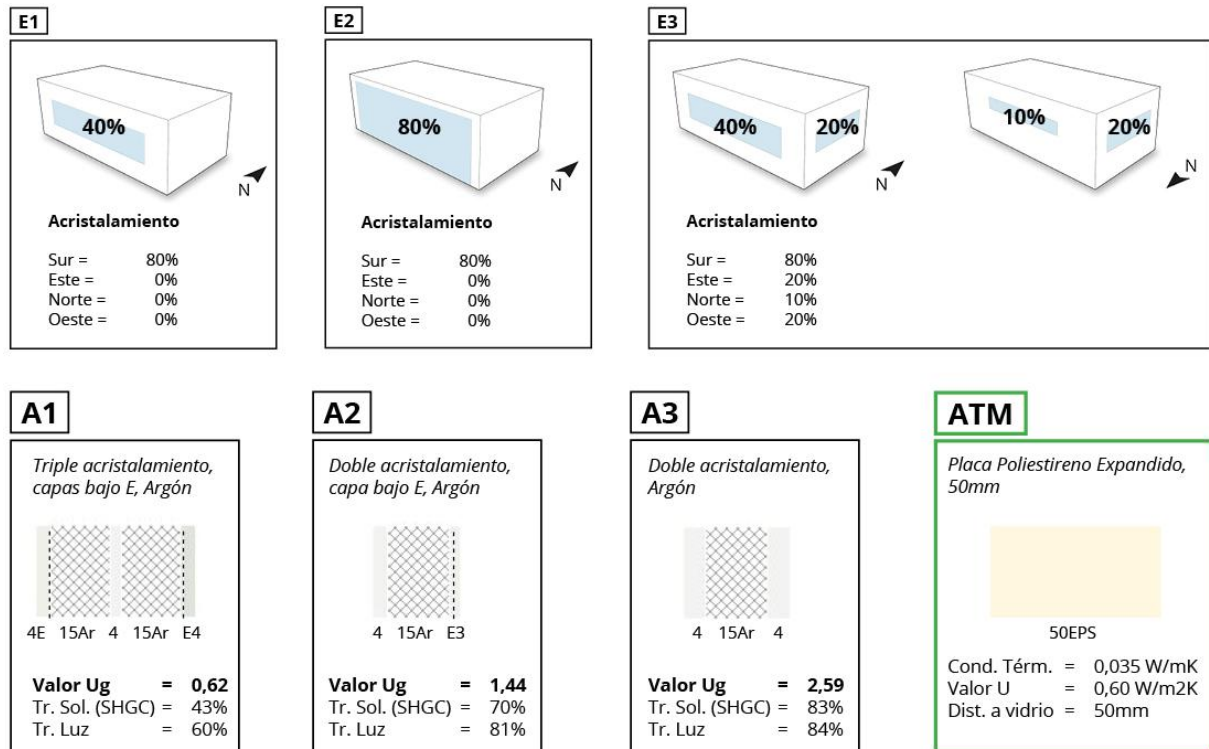
Esta gráfica nos da una representación muy clara y lógica sobre la diferencia en la demanda de calefacción en zonas climáticas distintas. Se ve que en Oslo, que está situada en una zona climática fría y con poca radiación solar, la demanda de calefacción está muy por encima de las otras ciudades.

La sorpresa es que la repercusión del ATM parece aumentar ligeramente cuanto más sur se va, cuando uno esperaría que fuera contrario. El impacto es de **20%** en Oslo, **22%** en Múnich y **28%** en Madrid. Mientras que las tendencias anteriores respecto al balance ganancias/pérdidas se ve relativamente lógica y previsible, esto no es tan fácil explicar.

Sin embargo, la cuestión de donde el ATM tiene más potencial plantea la cuestión de cómo se lo mide: ¿En porcentaje o valores reales? Aunque la repercusión del ATM en Madrid es de 28%, la repercusión en valores reales es de sólo -0,74 kWh/m<sup>2</sup>año. En Oslo, la repercusión porcentual es de 20%, pero en valores reales es de -8,05 kWh/m<sup>2</sup>año.



## 5.3 CONCLUSIONES FINALES



Se repiten las preguntas/hipótesis propuestas al principio del capítulo:

1. ¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción en un edificio?
2. ¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM en términos de demanda de calefacción en un edificio?
3. ¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?

Basado en los resultados obtenidos por los 27 cálculos anteriores se presenta las siguientes conclusiones.

---

**Respecto a la pregunta 1**


---

<b>IMPACTO DEL ATM A VARIOS ACRISTALAMIENTOS EN EL EDIFICIO E3</b>		
Acristalamiento	Ganancias/Pérdidas	Demanda de calefacción
A1+ATM	+42%	-8%
A2+ATM	+160%	-20%
A3+ATM	+202%	-30%

*¿Cuál es el impacto del ATM aplicado a varios acristalamientos sobre el balance ganancias/pérdidas y demanda de calefacción en un edificio?*

Basado en los cálculos con el E3, se presenta las siguientes conclusiones:

- No importa en que edificio y con que acristalamiento, el ATM tiene siempre una repercusión significativa y positiva en tanto el balance ganancias/pérdidas como la demanda de calefacción.
- La repercusión del ATM aumenta cuanto mayor sea el valor U del acristalamiento al que se aplica.
- En estos cálculos la repercusión del ATM sobre la demanda de calefacción varía entre 8 y 30% de reducción, según el acristalamiento al que se aplica
- Basado en los cálculos E1 y E2 con acristalamiento solo en el sur, el ATM tiene siempre más repercusión sobre la demanda de calefacción cuanta más superficie acristalada hay en la fachada sur.

## Respecto a la pregunta 2

IMPACTO DEL ATM A VARIOS ACRISTALAMIENTOS EN EL EDIFICIO E1 (40% acr. en sur)		
Acristalamiento	Ganancias/Pérdidas	Demanda de calefacción
A1+ATM	+15%	-5%
A2+ATM	+35%	-14%
A3+ATM	+132%	-23%

IMPACTO DEL ATM A VARIOS ACRISTALAMIENTOS EN EL EDIFICIO E2 (80% acr. en sur)		
Acristalamiento	Ganancias/Pérdidas	Demanda de calefacción
A1+ATM	+13%	-9%
A2+ATM	+31%	-22%
A3+ATM	+137%	-33%

*¿Cómo se comporta una combinación de una ventana de doble acristalamiento y ATM contra una de triple acristalamiento sin ATM en términos de demanda de calefacción en un edificio?*

Basado en los cálculos con E1 y E2, se presenta las siguientes conclusiones:

- En ambos edificios, la solución A2+ATM es siempre mejor que la A1. En el edificio E1 (40% de obertura a sur), la solución A2+ATM gana tanto a la solución A1 (vidrio triple) como el A1+ATM. Esto demuestra que para acristalamientos captadoras, la solución doble acristalamiento con ATM es energéticamente una mejor solución que un triple acristalamiento.
- Demuestra también que en fachadas captadoras es tan importante garantizar un factor g alto como reducir el valor U. Los ATM garantizan hoy en día un valor U reducida cuando no hay opción de captar energía y un factor g elevado cuando si existe la opción.
- Con respecto a las conclusiones superiores, sigue que cuando el factor g no es un factor importante, la mejor solución siempre será el acristalamiento más aislante. Esto vale por ejemplo en ubicaciones con poca o ningún radiación solar y en fachadas no captadoras (norte).
- Con respecto a la superioridad de la solución A2+ATM frente al A1, el margen de superioridad es mayor en el Edificio E1 (40% de obertura a sur) que en el E2 (80% de obertura a sur). En el Edificio E1, la demanda de calefacción es unos 10% más baja con la solución A2+ATM que con la solución A1. En el Edificio E2, esta diferencia es de solo 2%.  
Esto indica que la superioridad disminuye cuanto más grande sea el porcentaje de superficie acristalada. Dicho en otras palabras, al haber tanto vidrio, todas las opciones captan suficiente entonces el vidrio más aislante sale beneficiado.

- Si se suma la superioridad energética de la solución A2+ATM con las otras ventajas del ATM (aumentando la temperatura radiante de la superficie de vidrio, protección solar, sistema dinámico=más flexible, valor arquitectónica, protección contra degradación por agentes climáticos/contaminación aérea, etc.) y las desventajas del triple acristalamiento (costoso, alto peso propio, solución fija=poca flexibilidad) es claro que se presenta como una buena alternativa frente al triple acristalamiento.
- La industria del vidrio haría bien en preocuparse también del factor g. En su carrera por reducir la U parecen haber olvidado que las oberturas también sirven para captar energía.

### Respecto a la pregunta 3

IMPACTO DEL ATM EN VARIAS UBICACIONES CLIMÁTICAS			
Ubicación	Acr.	Ganancias/Pérdidas	Demanda de calefacción
Oslo	A2+ATM	+10%	-20%
Múnich	A2+ATM	+6%	-22%
Madrid	A2+ATM	+1%	-28%

*¿En qué zonas climáticas tiene el ATM más potencial?*

El esfuerzo necesario para responder a esta pregunta será demasiado exhaustivo y afuera del alcance de este trabajo. El autor anima gustosamente a otros a recoger y continuar este discurso.

Sin embargo, las tendencias prevalecientes en el cálculo “Cálculo Edificio E3 - Distintas zonas climáticas”, nos lleva a las siguientes conclusiones:

- La repercusión del ATM sobre la demanda de calefacción tiende a aumentar cuanto más cálida es la zona climática. Aunque esto es lo que nos dice los resultados, se considera poco probable. Una posible explicación o factor de corrección es que la célula de referencia siempre tiene la misma envolvente en cada cálculo. Es una envolvente que se basa en una construcción convencional en Noruega. Si el edificio de cálculo en Madrid tuviera una envolvente convencional de España, sería muy diferente el resultado: la demanda inicial será mucho más alta y la repercusión porcentual probablemente más baja. Otra posible explicación es que Madrid, como ubicación, tiene condiciones óptimas para la repercusión del ATM: abundancia de sol durante el día y temperaturas bajas durante la noche. En Oslo, por otro lado, hay más días nublados durante el invierno y la radiación solar no es tan fuerte. Esto resultará en que la repercusión porcentual del ATM sale mejor en Madrid y Múnich que en Oslo. Naturalmente, esto se trata de la repercusión porcentual, mientras que la repercusión en valores reales es lo que realmente cuenta. Esto es lo que nos lleva a la siguiente conclusión:
- En valores reales (kWh/m<sup>2</sup>año) la repercusión ATM sobre la demanda de calefacción tiende a disminuir cuanto más cálida es la zona climática. Esto es porque la demanda de calefacción es, inicialmente, mucho más alta en climas fríos. En el cálculo emprendido en este trabajo la demanda de calefacción inicial, sin ATM es de 41,14 kWh/m<sup>2</sup>año en Oslo contra solo 2,69 kWh/m<sup>2</sup>año en Madrid. La diferencia en valores usando el ATM es de -8,05 kWh/m<sup>2</sup>año en Oslo, -5,57 kWh/m<sup>2</sup>año en Múnich y -0,74 kWh/m<sup>2</sup>año en Madrid.

- Con esto, podemos concluir que el ATM tiene más potencial cuanto más fría es la zona climática en que está el edificio porque la demanda de calefacción inicial es normalmente mucho más alta. Dicho con otras palabras, es mucho más significativa una reducción de 20% sobre una demanda de 41,1 kWh/m<sup>2</sup>año que una reducción de 28% sobre una demanda de 2,7 kWh/m<sup>2</sup>año.
- Si hay una demanda de calefacción, la aplicación de un ATM siempre tiene una influencia positiva en la reducción de ella. Para determinar en que ubicaciones concretas su aplicación vale la pena, con respecto al tiempo de amortización es necesario encargar un estudio más amplio y profundo.

Se enfatiza que estas conclusiones valen para estos cálculos concretos y no son representativos para todos los casos. Para determinar exactamente donde el ATM tiene más potencial, es necesario realizar una investigación considerablemente más exhaustiva, algo que es afuera del alcance de este trabajo.

---

### Respecto al horario del ATM

---

- La repercusión del ATM está sujeta a grandes variaciones según su horario de operación. Más horas activo, cubriendo la ventana=más repercusión.
- Naturalmente, esto no vale durante horas del día con sol, cuando el ATM interferirá con las ganancias solares.
- La cuestión del impacto del horario habla a favor de los sistemas de ATM mecánicos/automáticos que comandados por un sistema de gestión permitan la gestión óptima.

Conclusiones más generales sobre otros aspectos del ATM se encuentra en el siguiente capítulo.

## 5.4 CÁLCULOS CON ACRISTALAMIENTO COMBINADO

En este punto se aprovecha la oportunidad de usar combinaciones de los diferentes acristalamientos. Basado en los resultados de los cálculos anteriores, sabemos que para acristalamientos captadoras (orientación sur), la solución A2+ATM es siempre una mejor solución que el A1 sencillo y el A2 sencillo. En el edificio E1, la solución A2+ATM es incluso mejor que el A1+ATM. Sabemos que en edificios con acristalamiento en cada fachada, donde los acristalamientos en el norte, oeste y este reciben poca o ninguna radiación solar, el A1 es una solución mejor que el A2 y que el A1+ATM es la mejor solución de todos.

Con esto en cuenta y con el objetivo de dar otro paso nos interesa ver cómo se comportará un edificio “híbrido” con una mezcla de acristalamientos.

Basado en las condiciones planteadas arriba se plantea los siguientes escenarios, cada uno con su combinación de acristalamiento:

1. En vez de incorporar el acristalamiento A1 de bajo valor U y bajo factor solar en cada fachada, se trata la fachada sur como una cuestión separada, dándole la solución A2+ATM.
2. En un edificio con acristalamiento A2 en cada fachada, se incorpora además un ATM en la fachada sur sólo.
3. Intentando buscar la combinación mejor posible, se incorpora el acristalamiento A2+ATM en el sur sólo y el A1+ATM en las otras fachadas.

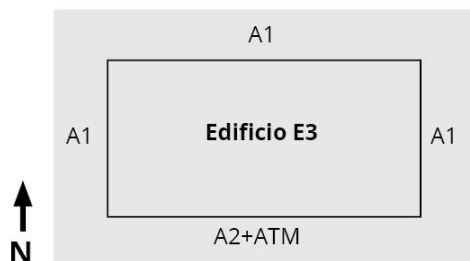
Para comprobar los escenarios se utiliza el Edificio E3 ubicado en Oslo, siempre con el mismo porcentaje de superficie acristalada. El ATM sigue siendo el mismo, de placa EPS de 5cm con 5cm de distancia al vidrio.

### **¡NB!**

En este capítulo se trabaja únicamente con la demanda de calefacción, medida en kWh/m<sup>2</sup>año.

## 5.4.1 Cálculos

**Escenario 1: A1/A2+ATM** En vez de incorporar el acristalamiento A1 de bajo valor  $U$  y bajo factor solar en cada fachada, se trata la fachada sur como una cuestión separada, dándole la solución A2+ATM.

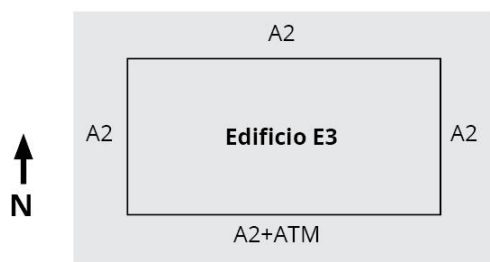


DISTRIBUCIÓN Y TIPO DE ACRISTALAMIENTO		
Fachada	Superficie	Tipo de acristalamiento
Sur	40%	A2+ATM
Norte	10%	A1
Este	20%	A1
Oeste	20%	A1

En esta combinación de acristalamientos se incorpora el A1 en las fachadas norte, este y oeste y el A2+ATM en la fachada sur sólo. Luego nos interesa comparar esta Combinación 1 con el mismo edificio con A1 en cada fachada. ¿Cuál sería la diferencia porcentual en la demanda de calefacción entre las dos soluciones?

**Escenario 2: A2 / A2+ATM**

En un edificio con acristalamiento A2 en cada fachada, se incorpora además un ATM en la fachada sur sólo.



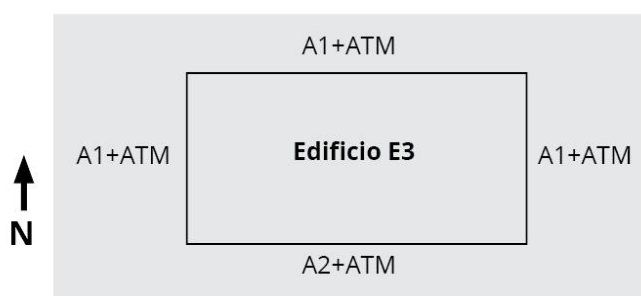
DISTRIBUCIÓN Y TIPO DE ACRISTALAMIENTO		
Fachada	Superficie	Tipo de acristalamiento
Sur	40%	A2+ATM
Norte	10%	A2
Este	20%	A2
Oeste	20%	A2



En este edificio con A2 en cada fachada, se incorpora un ATM en la fachada sur sólo. Luego, lo comparamos con un edificio con A2 en cada fachada, pero sin el ATM. ¿Cuál sería la repercusión en la demanda de calefacción?

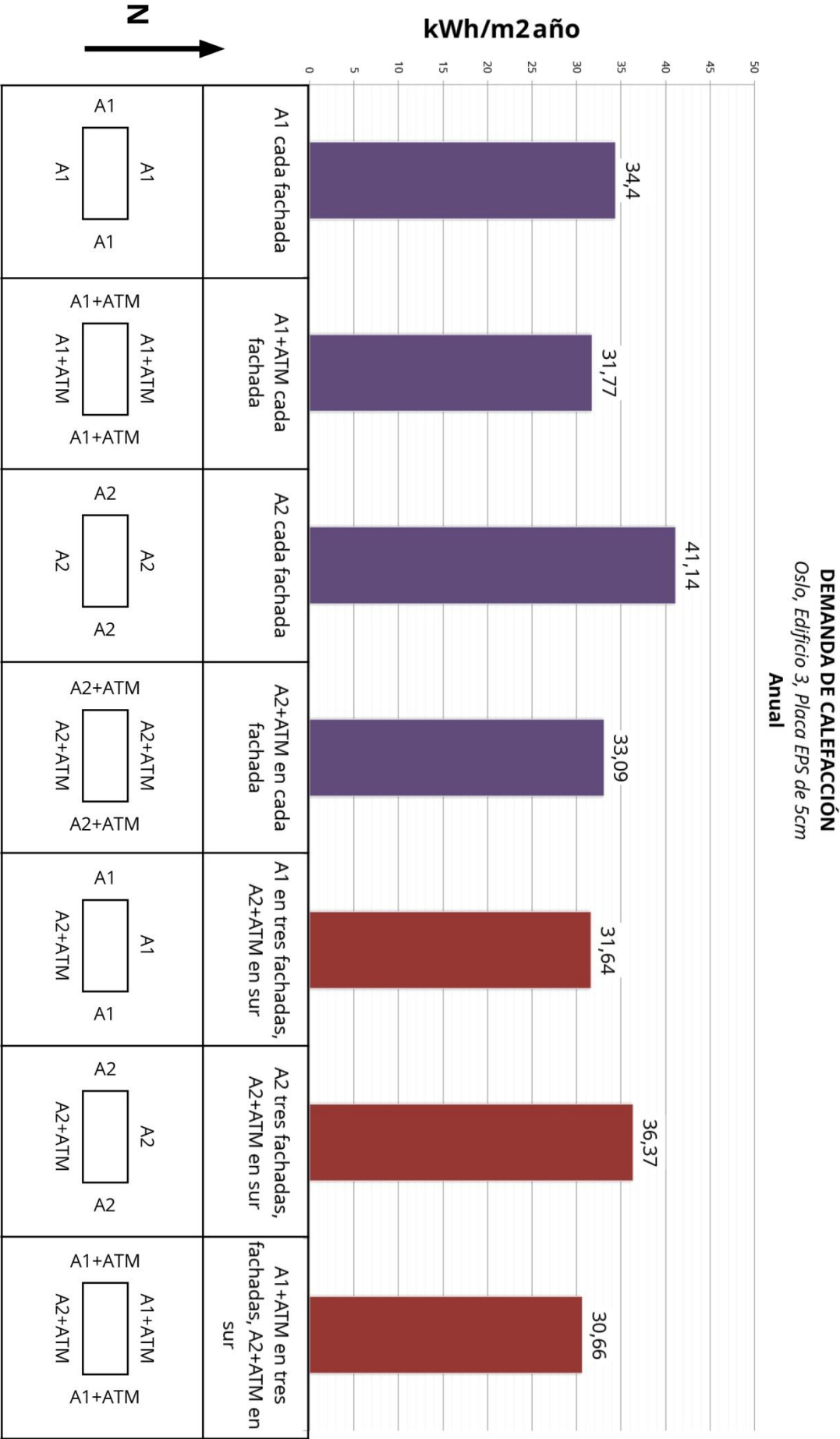
### Escenario 3: A1+ATM / A2+ATM

*Intentando buscar la combinación optima, se incorpora el acristalamiento A2+ATM en el sur sólo y el A1+ATM en las otras fachadas.*



DISTRIBUCIÓN Y TIPO DE ACRISTALAMIENTO		
Fachada	Superficie	Tipo de acristalamiento
Sur	40%	A2+ATM
Norte	10%	A1+ATM
Este	20%	A1+ATM
Oeste	20%	A1+ATM

En esta combinación se intenta buscar la mejor solución de todos. En el sur se encuentra el A2+ATM y en las otras fachadas se encuentra el A1+ATM.



## Conclusiones intermedias

### Escenario 1

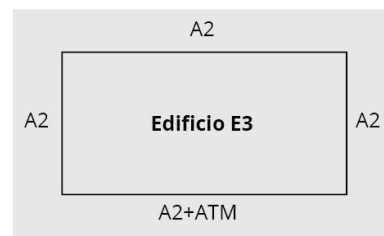
En este escenario se incorpora la Combinación 1 con un A2+ATM en el sur y el A1 en el resto de las fachadas “en vez de” simplemente incorporar A1 en todas las fachadas. La demanda de calefacción con esta Combinación 1 sale a **31,64 kWh/m<sup>2</sup>año** contra unos **34,4 kWh/m<sup>2</sup>año** con la solución con A1 en cada fachada, significando que la Combinación 1 se comporta un 8% mejor. Esto demuestra que es posible conseguir ahorros significativos en la demanda de calefacción por trabajar con un ATM en el sur sólo, tratando el acristalamiento captador de otra manera que los otros.

Además, se ve que la Combinación 1 con sus **31,64 kWh/m<sup>2</sup>año**, también supera marginalmente a la solución A1+ATM en cada fachada que opera con una demanda de **31,77 kWh/m<sup>2</sup>año**. Esto es muy interesante primero porque indica que refuta la presunción anterior de que la solución A1+ATM es mejor de todos. Segundo, porque indica que a veces puede ser igual o mejor trabajar con el ATM solo en el sur que en todas las fachadas, siempre y cuando el ATM proteja a un vidrio con alta capacidad de captación solar.



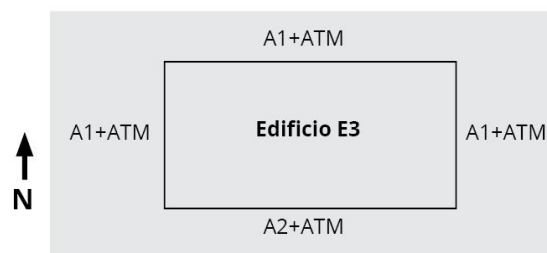
### Escenario 2

En este escenario se imagina un edificio con el acristalamiento A2 en cada fachada y que se incorpora además un ATM en la fachada sur solo, mirando su repercusión sobre la demanda de calefacción. La demanda de calefacción con esta Combinación 2 sale a **36,37 kWh/m<sup>2</sup>año contra unos 41,4 kWh/m<sup>2</sup>año** en la solución sin ATM. Esto significa que la Combinación 2 se comporta unos 12% mejor. En este escenario será naturalmente mejor poner ATM en cada fachada (33,09 kWh/m<sup>2</sup>año), pero eso no es lo que se trata aquí. Aquí se trata de demostrar que se puede conseguir una repercusión significativa por incorporar el ATM en el sur sólo, algo que puede ser una ventaja económica o práctica.



### Escenario 3:

En este escenario se busca la combinación “óptima”, basado en los resultados de los otros cálculos. Se incorpora el A1+ATM en cada fachada excepto el sur, donde se pone A2+ATM.



Con esta Combinación 3, la demanda sale a **30,66 kWh/m<sup>2</sup>año**, haciéndola la mejor solución de todas las soluciones comprobadas con el edificio E3.

## 5.4.2 Conclusiones finales

---

### **Escenario 1: A1/A2+ATM**

1. En términos estrictamente de ahorro energético, la combinación con A1 / A2+ATM en el sur es significativamente mejor (8%) que la solución con A1 en cada fachada.
2. El hecho de que la Combinación 1 ha salido un poco mejor que la solución con A1+ATM en cada fachada muestra que a veces, incorporar un ATM en todas las fachadas no es la mejor solución en términos prácticos/económicos: puede ser igual o mejor trabajar con el ATM solo en el sur.

### **Escenario 2: A2 / A2+ATM**

1. Doble acristalamiento en cada fachada más ATM en el sur solo lleva a una reducción en la demanda de calefacción de 12%. Esto demuestra que se puede conseguir una repercusión significativa por incorporar el ATM en el sur sólo, algo que puede ser una ventaja económica o práctica.

### **Escenario 3: A1+ATM / A2+ATM**

1. La combinación de A2+ATM en el sur y A1+ATM en las otras fachadas es superior a todas las soluciones comprobadas con el edificio E3.

Los resultados con estas combinaciones habla a favor de soluciones híbridas y que se debería tratar la fachada sur como una cuestión distinta.





# 06 GUÍA DE DISEÑO

*Consideraciones en el diseño de un sistema ATM*

Este capítulo se entiende como una guía para el diseño de aislamientos térmicos móviles, definiendo las principales consideraciones de diseño y aspectos a tener en cuenta. Los criterios se basan en información encontrada en la literatura del ATM, experiencias con sistemas existentes, la teoría de la física térmica y los resultados de los cálculos en el capítulo anterior. Para evitar ser exhaustivo se intenta siempre clarificar y sintetizar, resumiendo solo lo más importante.

Hay muchas consideraciones, algunas obvias y otras no tanto. Es imposible clasificarlas según importancia porque la prioridad de cada una depende del contexto. Sin embargo, en este trabajo, se enfatiza las consideraciones térmicas. Después de todo, este trabajo presenta el ATM principalmente como herramienta para luchar contra las pérdidas de calor en climas fríos.

Las consideraciones principales que conducen al ATM óptimo se presentan así, sin ningún orden determinado:

- **Capacidad aislante**
- **Hermeticidad de aire**
- **Conveniencia**
- **Durabilidad**
- **Mantenimiento**
- **Emplazamiento respecto a la ventana**
- **Estéticas atractivas**
- **Economía**

En los siguientes subcapítulos se elabora cada uno de los puntos.



## 6.1 CAPACIDAD AISLANTE

*La ventana perfecta es transparente como el cristal y aislante como la pared.*

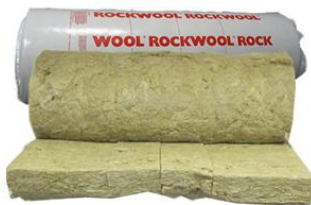
Una ventana promedio tiene un coeficiente de transferencia de calor muy superior que la misma superficie de pared opaca (hasta 10 veces mayor).

El primer objetivo del ATM es acortar esta brecha por mejorar la capacidad del acristalamiento de ralentizar la transferencia de calor hacia el exterior. Esto se consigue disminuyendo la transferencia por conducción, radiación, convección e infiltración. Los dos últimos se cubren en el siguiente subcapítulo, "Hermeticidad al aire".

### Conducción

Para ralentizar las pérdidas por conducción es necesario incorporar en el ATM un material con baja conductividad térmica, dicho con otras palabras, un buen aislante. Como sabemos, los aislantes más comúnmente usados en la edificación incluyen lana mineral, lana de vidrio, poliestireno expandido o extruido, espuma de poliuretano, fibra de madera, lana de madera, corcho etc. Son todos excelentes aislantes con una conductividad térmica alrededor de 0.03-0.05 W/m K. Son todos perfectamente utilizables para un ATM.

Algunos aislamientos térmicos comunes:



Lana de roca



Lana de fibra de vidrio



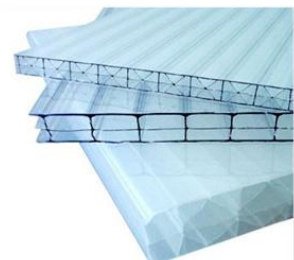
Poliestireno expandido



Espuma de poliuretano



Fibra de madera



Policarbonato celular

En los últimos años hemos visto también un aumento en el uso de aislantes translucidos, especialmente placas de policarbonato. Aunque los aislamientos translucidos son inferiores a los convencionales en términos de capacidad aislante y todavía relativamente caros, se hacen relevantes justo por sus propiedades translucidas. Más información sobre aislamientos translucidos se encuentra en el capítulo 0.

### *¿Cuál es el mejor aislante?*

- Obviamente no hay una respuesta final a esta pregunta. Sin embargo, hay dos aspectos especialmente importantes en la elección de aislante para un ATM: el peso propio y la rigidez (resistencia mecánica). El peso propio justo porque se trata de sistemas móviles. El peso bajo es ventajoso porque facilita la operatividad y la energía necesario para la operatividad (sea a mano o mecánica). La rigidez es importante porque permite al sistema reducir la necesidad de estructura de soporte. Cuando reducimos la estructura de soporte reducimos el peso propio del componente y evitamos posibles puentes térmicos.

Recordando física básica, se sabe que la rigidez normalmente aumenta con la densidad del material y la capacidad aislante empeora con más densidad. Por eso, es un desafío encontrar un material que es ligero, rígido y aísla bien al mismo tiempo. Un material que de manera prometedora resuelve los tres al mismo tiempo es el panel de policarbonato. Es un material ligero que con su estructura interior celular, atrapa bolsillos de aire y provee excelente resistencia mecánica por peso. La capacidad aislante no es tan buena como en los otros aislantes, pero la tecnología está en desarrollo y prometedora.

Otra manera de resolverlo es mediante una estructura sándwich donde se fija el aislante entre dos capas de otro material mecánicamente más resistente y que protegen el aislamiento contra agentes climáticos, degradación etc. Las hojas exteriores son típicamente metálica o de madera contrachapada. Hay que añadir que este método depende de que el aislante ya sea de carácter relativamente rígido. En el caso de que se utiliza la madera como capa exterior, su resistencia térmica propia tendrá impacto a la resistencia térmica total del ATM, pero el impacto es marginal y no debería ser un criterio importante para el diseño del sistema. Como bien afirma Kristinsson (2012), “La selección de material de acabado y centro apenas influye la resistencia térmica práctica. Contraventanas de madera son una fracción mejor que los metálicos o sintéticos” (Kristinsson, 2012)<sup>25</sup>

El panel de policarbonato celular introduce una tercera consideración, que es el carácter translucido. Esto es muy relevante porque introduce la posibilidad de usar el ATM también durante horas del día, sin perder toda la luz en el interior del edificio. Esto puede ser muy útil durante horas del día cuando no se dan las circunstancias para captación solar, por ejemplo un día nublado o en ventanas dando al norte, que en principio nunca reciben radiación solar directa.

---

<sup>25</sup> Traducción por el autor, texto original: “The selection of cover and core material for the panel shutters is hardly of influence on the practical heat resistance. Wooden shutters are a fraction better than metallic or synthetic ones”

Como bien sostiene Shurcliff (1980), "Dispositivos translucidos y transparentes tienen, sin embargo, este gran mérito: se pueden dejar en su lugar, cubriendo la ventana durante la noche y el día, semana tras semana. No requieren ninguna atención" (Shurcliff, 1980)<sup>26</sup> La propiedad translúcida es muy interesante para el ATM y definitivamente una consideración importante en el proceso de diseño.

Teniendo todo esto en cuenta y respondiendo a la pregunta se podría destacar tres materiales especialmente interesantes:

- Placa de policarbonato celular
- Placa de Poliestireno expandido/extruido (EPS/XPS)
- Placa de fibras orgánicas (fibra de madera/corcho etc.)

La elección de material aislante está controlada por más factores que los mencionados aquí, lo importante es que cumple con los criterios más importantes: capacidad aislante, peso propio y rigidez. Los aislantes presentados aquí son todos excelentes aislantes y aplicados correctamente tendrán seguramente un gran impacto en las prestaciones finales.

#### *¿Cuál debería ser el espesor del aislamiento?*

- De hecho, el espesor del aislante no es la manera apropiada de medir su rendimiento térmico porque no considera la capacidad aislante o conductividad térmica,  $\lambda$ , del material en cuestión. En vez de determinar el espesor del aislante es preferible determinar su rendimiento usando unidades como transmitancia térmica (Valor U) y resistencia térmica (Valor R). Son unidades de transferencia de calor que consideran tanto la capacidad aislante del material como el espesor. La relación simplificada se ve así:

$$\text{Valor } R = \frac{e}{\lambda}$$

$$\text{Valor } U = \frac{1}{R}$$

$\lambda$  = Conductividad térmica Predeterminada para cada material

e = Espesor

R = Resistencia térmica

U = Transmitancia térmica

El espesor del aislante, entonces, no debería ser considerado por sí mismo, sino en relación con la conductividad térmica del material.

En realidad, la cuestión inicial debería ser reformulada a:

¿Cuál debería ser el valor U o R del aislamiento?

Lo segundo importante es que cuando se añade aislamiento a una pared o ventana el primer centímetro es siempre el más importante y el ahorro energético proveído por

---

26 Traducción por el autor, texto original: "Translucent and transparent devices have, however, this great merit: they can be left in place, covering the window night and day, week after week. They require no attention"

cada centímetro adicional añadido es cada vez menor. La curva del impacto del espesor del aislamiento se ve casi inversamente exponencialmente. Al final se llega a un punto donde aumentar más el espesor no tiene razón- económicamente, térmicamente y medioambientalmente (coste ambiental de la producción del aislante).

Nos imaginamos una placa de Poliestireno expandido (EPS) con conductividad térmica  $\lambda = 0,04 \text{ W/m K}$ . La repercusión de cada centímetro de espesor añadido se expresa con el gráfico siguiente:

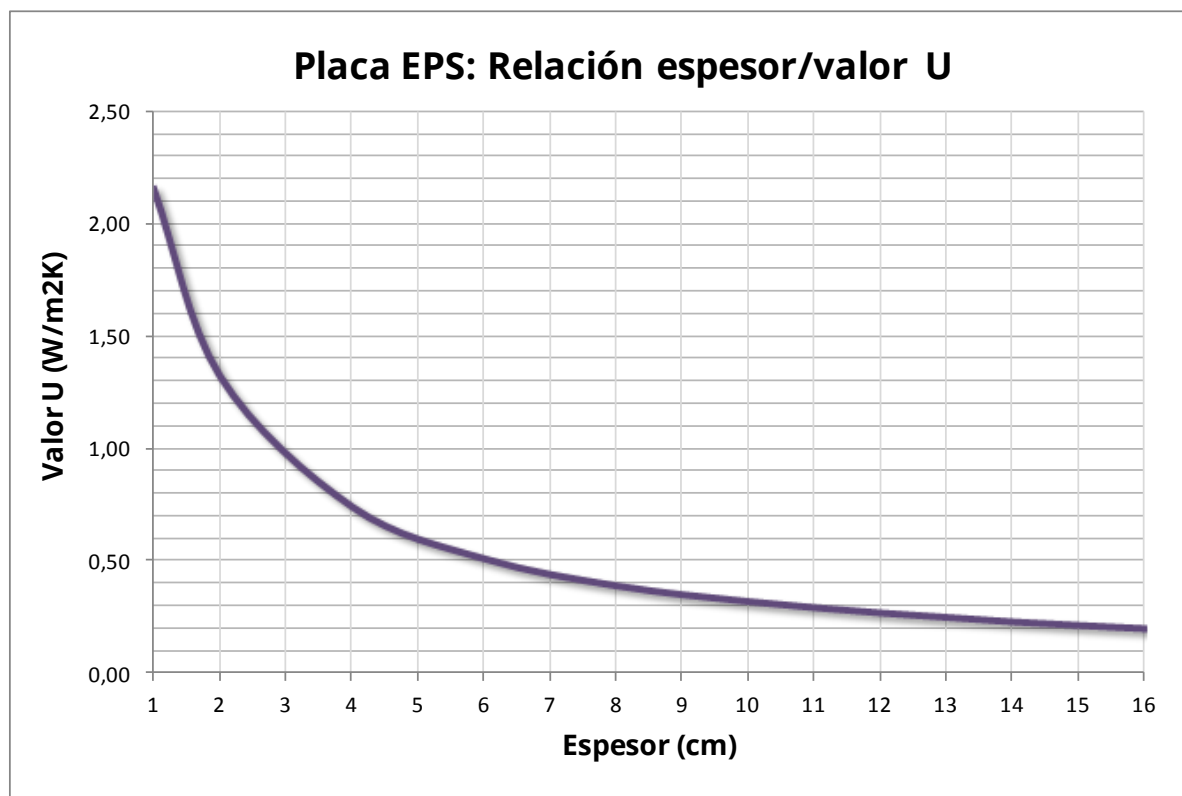


Fig. 59 La relación entre el espesor del aislante y su valor U.  
Resultados obtenidos de simulaciones con el software THERM 7.3

Se ve claro que la repercusión es más grande con los primeros centímetros y disminuye de manera exponencial. A partir de los 10cm la curva se empieza a nivelar y cada centímetro adicional tiene una repercusión marginal hasta que se puede preguntar si es económicamente o prácticamente justificable.

El impacto del espesor del ATM sobre las pérdidas de calor y la demanda de calefacción se ha comprobado usando el Edificio E3 del capítulo anterior con el acristalamiento A2. Los resultados obtenidos son:

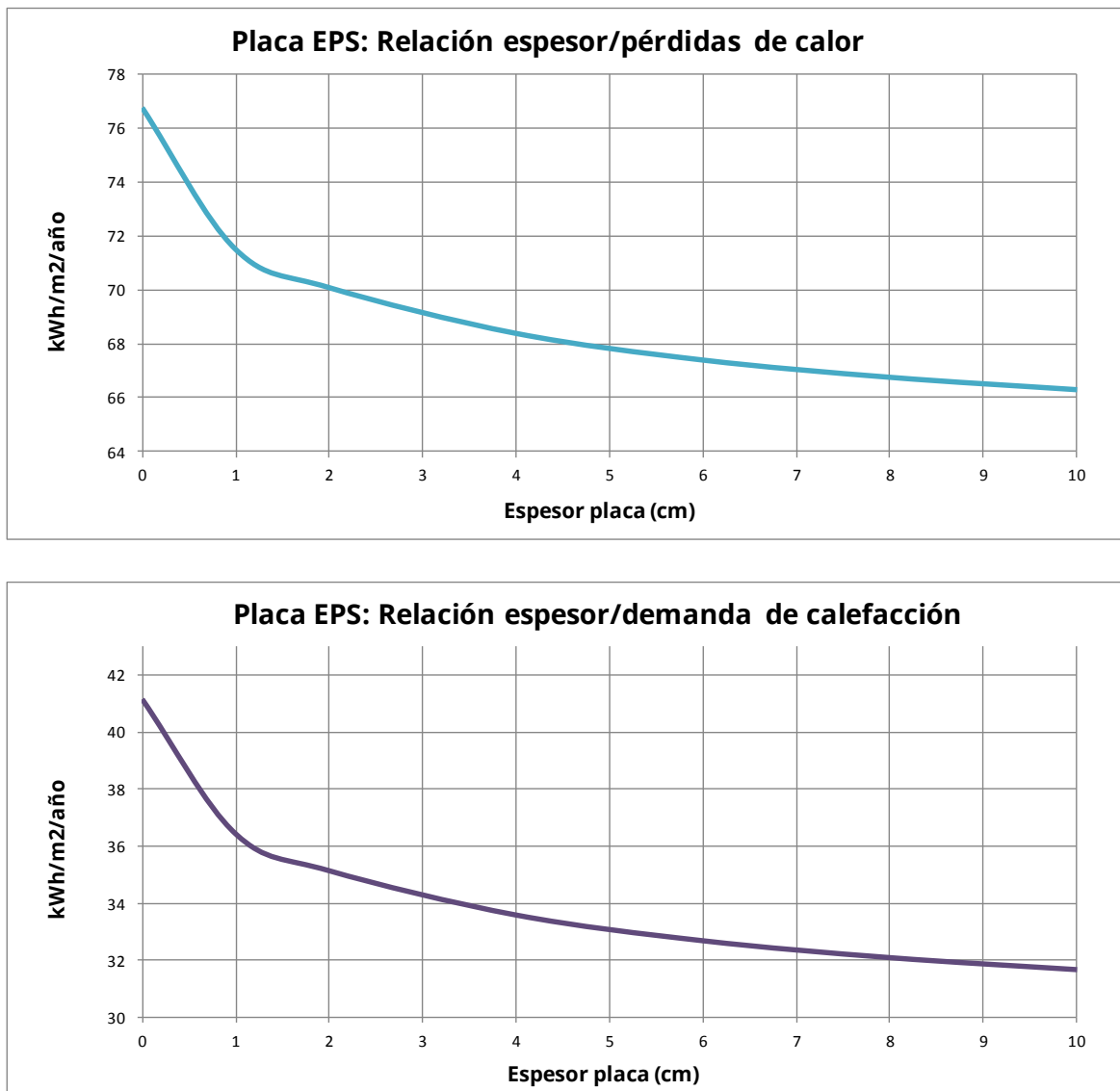


Fig. 60 La relación entre el espesor del aislante, las pérdidas de calor y la demanda de calefacción. Resultados obtenidos usando el programa Designbuilder. En el cálculo se ha utilizado el edificio E3 con acristalamiento A2 como definido en capítulo 5.1. El ATM es de placa EPS siempre con 5cm de distancia del vidrio.

Lo primero que se ve es que las curvas son muy parecidas. En la demanda de calefacción, se ve la repercusión grande pasando de ningún a 1cm de aislamiento. Entre 1 y 4 cm, la repercusión de cada centímetro es todavía muy significativa. A alrededor de 8cm la curva se empieza a nivelar.

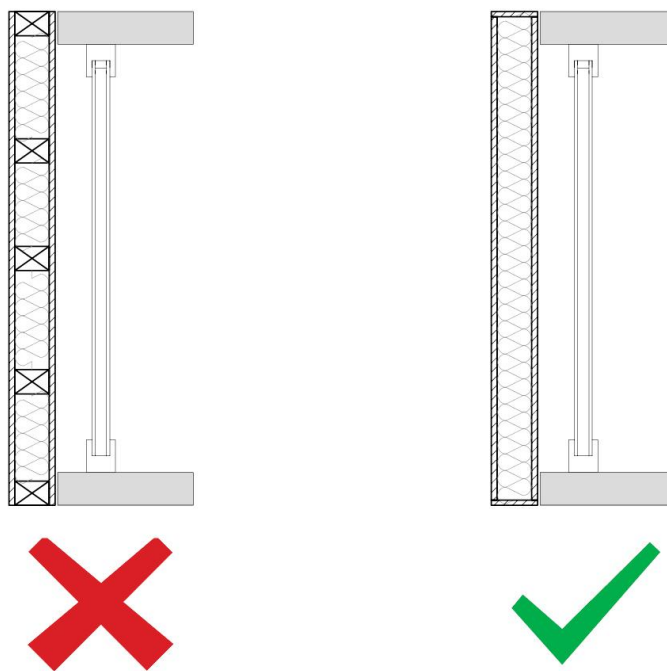
En ambas medidas, la diferencia entre 1 y 8 cm de espesor es enorme. Comparado con la demanda sin ATM, si el espesor es 1cm, la repercusión del ATM sobre la demanda es de **11%**. Si el espesor del ATM es de 8cm, la repercusión es de **22%**, el doble.

En realidad no hay una respuesta final a la pregunta inicial. La determinación del apropiado valor U del aislamiento debería ser evaluado específicamente en cada caso según las condiciones climáticas, valor U de la ventana, rendimiento deseado, economía, etc. Lo importante es tener en cuenta los aspectos listados arriba y evitar exagerar el espesor hasta el punto de que la facilidad de operación y coste total sufran.

En la opinión subjetiva del autor el espesor del ATM debería ser al menos 4cm para que valga la pena instalarlo y no mucho más que 10cm porque con más espesor la repercusión es poca, empieza a ser económicamente no viable e implicará complicaciones prácticas y en el diseño.

### Puentes térmicos

En los ATM como en la edificación en general hay que evitar los puentes térmicos. Esto es especialmente importante en climas fríos. Se busca un diseño del sistema ATM que permita que el aislamiento sea lo más continuo posible sin ser interrumpido por componentes con conductividad más alta.



(Elaboración propia)

Como referencia general, la solución a la izquierda es algo que se debería evitar, mientras que la de la derecha es preferible. Aunque, la madera en este caso es un relativamente buen aislante, da un efecto de puente térmico que se debería evitar.

Respecto a puentes térmicos, otro aspecto importante es la diferencia en la transmitancia térmica del acristalamiento ( $U_g$ ) y de la carpintería ( $U_w$ ). Hoy en día con acristalamientos aislantes es casi normal que la carpintería opere con valor  $U$  peor que el acristalamiento, significando que se puede decir que la carpintería es un puente térmico. Aunque la superficie del marco es mucho menor que la superficie del acristalamiento (normalmente 10-20% de la superficie de la ventana entera) su efecto puente térmico tiene bastante gran impacto sobre el valor  $U$  de la ventana entera ( $U_w$ ).

En términos de ahorro energético significa generalmente que es favorable utilizar carpintería delgada y poner una ventana grande en vez de dos pequeñas. Cuanto menos es la superficie de la carpintería respecto a la superficie de la ventana entera, mejor sea el valor  $U$  de la ventana entera ( $U_w$ ).

Norbert Sack, director del departamento de investigación y desarrollo en el Institut für Fenstertechnik (Instituto de tecnología de la ventana) en Rosenheim, Alemania confirme,

diciendo, "Como el marco, en general es el punto débil de la ventana, térmicamente hablando, cuanto menor sea la ratio de marco en relación a superficie total, mejor será el equilibrio energético" (DETAIL Green, 2012)

Respecto al ATM es relevante porque se debería tener en cuenta al diseñarlo. Con el fin de lograr el mejor rendimiento es favorable que el ATM cubra tanto la carpintería como el acristalamiento, como en la ilustración abajo.

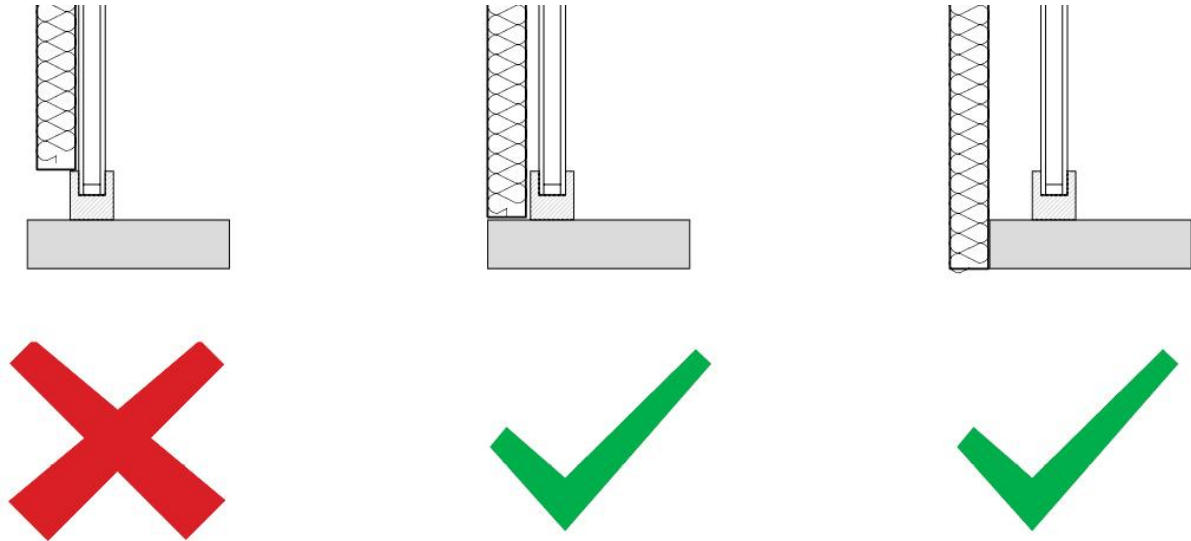


Fig. 61 Emplazamiento del ATM respecto a la carpintería (favorable/no favorable) (Elaboración propia)

Esto puede parecer obvio, pero se enfatiza porque tanto Langdon (1980) como Shurcliff (1980) presentan sistemas ATM "pop-in", que en realidad son placas aislantes que se fija directamente al vidrio sin cubrir el marco. Esta solución es, entonces, no favorable respecto al argumento anterior.

## Radiación

La radiación es uno de los aspectos más importantes en la transferencia de calor a través de ventanas, pero en comparación con la conducción y la convección parece que los mecanismos fundamentales son menos conocido entre el público general. La radiación afecta tanto a las ganancias solares como las pérdidas de calor.

Con respecto a control de la radiación, lo que se busca en una ventana en un clima frío en invierno es:

1. La entrada de radiación solar durante el día
2. Que esta radiación sea absorbida por paramentos en el interior (suelo, pared, muebles) que son de alta inercia térmica (hormigón, pétreos, agua, tapial, etc.), capaces de almacenar y emitir el calor acumulado por radiación
3. Evitar que esta radiación se escape a través de la misma ventana

El primer aspecto se consigue verificando que la ventana tiene un buen factor solar (factor g), que permite que entre la máxima cantidad de radiación solar durante el día.

El segundo aspecto se consigue diseñando el edificio de manera que los paramentos con inercia térmica reciban radiación solar directa. Cuando estos paramentos absorben la energía radiante del sol se convierte en calor que se acumula en el material.

En el momento que estos paramentos son más calientes que los otros alrededor, se empiezan emitir este calor en el espacio y es en este momento que el punto 3 toma relevancia. De hecho, la mayoría de la radiación emitida por los paramentos de inercia térmica es demasiado “débil” para penetrar la ventana y está absorbido por el vidrio. En principio, esto está bien, pero si se consigue que esta radiación sea reflejada hacia el interior se reduce más las pérdidas totales. Langdon (1980) lo dice así, “Para limitar transferencia de calor por radiación, un material debe, por lo menos parar los rayos radiantes por absorberlos. El vidrio de ventanas sirve como una barrera opaca para la transferencia de calor por radiación. Sin embargo, esta transferencia se evita más eficazmente si el calor se refleja de nuevo hacia su origen. Al añadir aislamiento en la ventana, capas reflejantes dando al interior del espacio aumenta la resistencia térmica del panel, persiana o cortina” (Langdon, 1980) <sup>27</sup>

Evidentemente, esto no es fácil conseguir con la misma ventana porque los puntos 1 y 3 son contradictorios. Actualmente se resuelve añadiendo otra hoja de vidrio y una capa de baja emisividad, que mejora las prestaciones respecto al punto 3. El problema con la capa bajo E es que drásticamente compromete el punto 1.

Es aquí que el aislamiento térmico móvil se hace relevante, justo porque es móvil y si está equipado con capa bajo E, es capaz de reducir las pérdidas de calor por radiación sin reducir la entrada de radiación solar durante el día. Además, en el ATM, la capa bajo emisiva puede ser más potente que en el acristalamiento ya que no se tiene que considerar que la capa permite la entrada de radiación solar durante el día. Otra ventaja de incorporar una capa bajo E se encuentra durante el verano cuando el mismo sistema ATM puede hacer las veces de protección solar, más eficazmente bloqueando la radiación solar directa.

Más información sobre este tema se encuentra en el capítulo 0: “El potencial del ATM”. Como que este capítulo se trata de consideraciones prácticas de diseño la primera pregunta es naturalmente:

*¿Debería incluir un buen ATM una capa de baja emisividad (capa reflejante)?*

- Si el ATM está en el interior de la ventana, el sistema lo permite y se busca el mejor rendimiento, la respuesta es sí.

Simulaciones hechas con el Edificio E3 y el acristalamiento A2 con ATM colocado afuera y dentro, muestran que la emisividad del ATM tiene repercusión sobre la demanda de calefacción- aunque con poco margen.

En un ATM de 5cm de EPS, el impacto de la capa reflejante sobre la demanda de calefacción es muy bajo, de solo 0,65%. Sin embargo, hay una relación con el espesor

---

27 Traducción por el autor, texto original: “To limit radiant heat transfer, a material must at least stop the radiant waves by absorbing them. Window glass serves as an opaque barrier to radiant heat transfer. However, radiant heat transfer is more effectively stopped if the heat is reflected back to its source. When adding window insulation, foil surfaces that face into the room’s air space increase the resistance of the panel, shade or curtain”



del ATM: cuanto menos es el espesor, cuanto más impacto tiene la capa reflejante. En un ATM de 1cm de EPS, el impacto es de 3,26%. Por eso, se incorpora casi siempre la capa reflejante en las cortinas térmicas, presentados en el capítulo 0.

*¿En que cara del ATM se debería aplicar la capa, interior o exterior?*

- La capa tiene que estar enfrentada directamente hacia la radiación que quieras combatir. Es decir, para un ATM interior, la capa debería ser aplicada en la cara interior del ATM.

*¿Se debería incluir una capa reflejante también si el ATM está colocado afuera?*

- Teniendo en cuenta los argumentos planteados arriba y en capítulo 0, se ve que en el caso de que el ATM este en el exterior, el efecto de la capa bajo E es casi nulo- excepto si se considera usar el ATM como protección solar. En este caso, la capa reflejante puede ser efectiva en reflejar la radiación solar y proteger el edificio. Entonces, la respuesta es sí, dado que el objetivo es que el sistema ATM actúe también como protección solar durante el verano.

*¿Cuáles son los materiales apropiados para una capa reflejante?*

- Las capas reflejantes consisten de un material reflejante, normalmente el papel de aluminio, que se aplica a uno o dos lados de un material substrato como el papel de estraza, películas plásticas, cartón, oriented strand board etc.

### **Cámara de aire**

El aire por sí mismo, si está en un estado inmóvil, tiene una buena capacidad aislante y es quizás el aislamiento más económico en un sistema ATM.

Si aseguramos que el perímetro del ATM contra la carpintería está bien sellado y que el material del ATM por sí mismo es relativamente impermeable al aire se puede hacer uso del aire atrapado entre la ventana y el ATM como aislante.

Con respecto a la capacidad aislante, un factor importante es el espesor de la cámara de aire o la distancia entre el ATM y el vidrio.

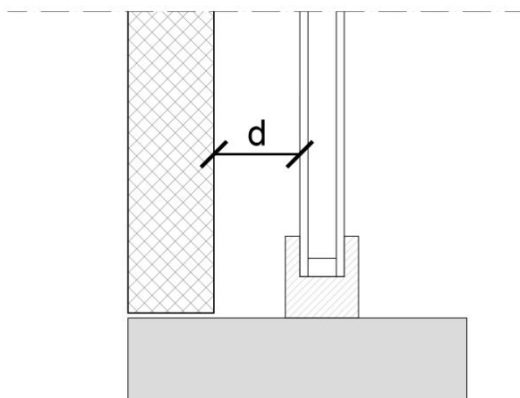


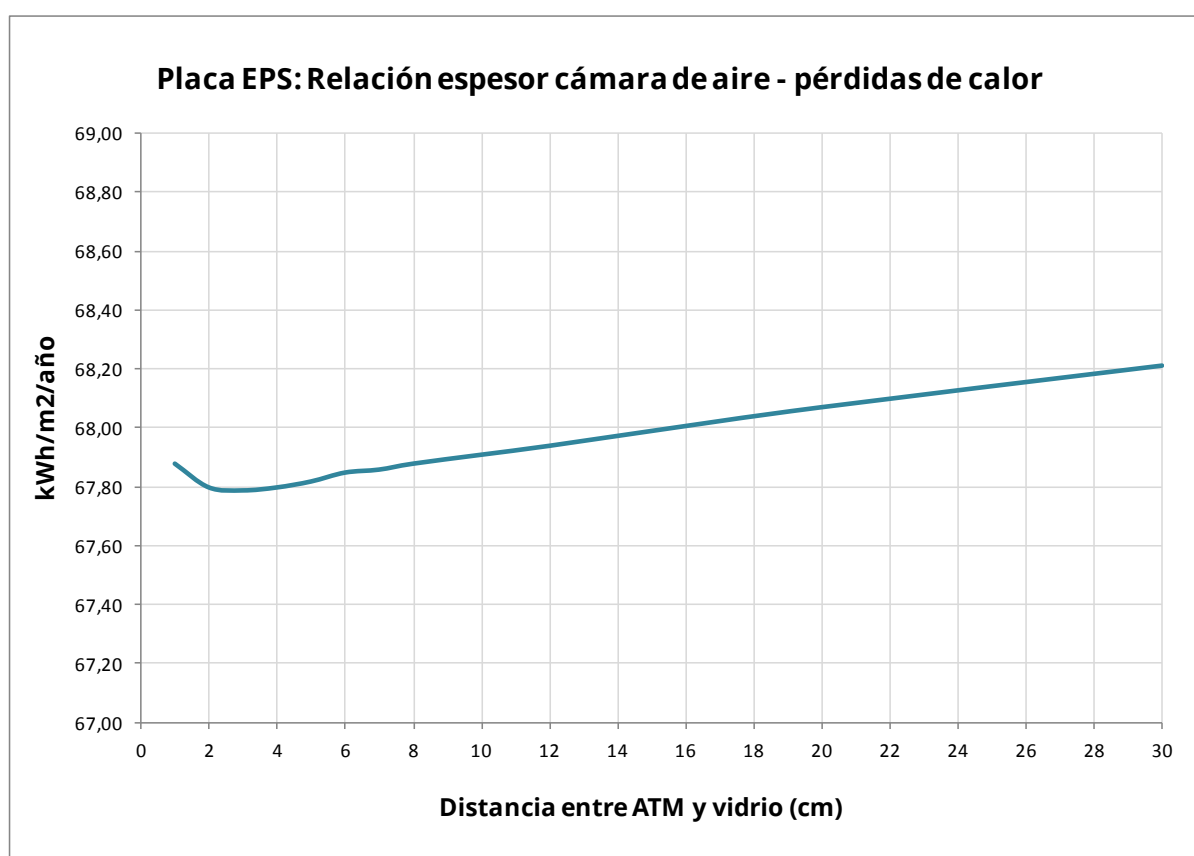
Fig. 62  $d$ =distancia entre el vidrio y el ATM. (Elaboración propia)

Sabiendo que el espesor de la cámara influye la capacidad aislante, es natural la pregunta:

*¿Cuál debería ser la distancia entre el ATM y el vidrio?*

- Según Goulding, Lewis, & Steemers (1993), "Cámaras de aire o gas entre el acristalamientos tienen una resistencia térmica proporcional a su espesor hasta aproximadamente 2cm. Luego, se permanece constante hasta aproximadamente 6cm y se disminuye después de esto" (Goulding, Lewis, & Steemers, 1993)<sup>28</sup> Este argumento es apoyado por Borer & Harris (1998)<sup>29</sup>

Para comprobar, se hizo una simulación rápida con nuestra célula de referencia, el edificio E3, el acristalamiento A2 y el ATM de referencia de 5cm de EPS. Observando el cambio en las pérdidas de calor cambiando la distancia entre el ATM y el vidrio se presenta los siguientes resultados:



1 El valor 0cm, o el escenario en que el ATM unido con el vidrio no está definido en el cuadro porque el programa DesignBuilder no permite hacer esta simulación.

El gran impacto se encuentra en el establecimiento de la cámara, es decir cuando se separa físicamente el ATM del vidrio. Los resultados obtenidos con nuestra célula de referencia, no son tan claros como lo que dicen las fuentes. Sin embargo, se reconoce el estancamiento en la repercusión entre 2 y 4 centímetros. Con más de 4cm de distancia

28 Traducción por el autor, texto original: "Air or gas-filled space between glazing has a thermal resistance that is proportional to its thickness up to approximately 2cm. It then remains constant to about 6cm and decreases slightly after that"

29 "The thermal resistance of the air space is proportional to distance, up to about 20mm, and then remains constant up to 60mm, after which it gets worse due to convection currents." (Borer & Harris, 1998)

esta capacidad se empieza a disminuir lentamente. Mirando los valores reales se ve que, en general, el espesor de la cámara tiene poca influencia sobre las pérdidas.

La respuesta a la pregunta es, entonces, que la distancia entre el ATM y el vidrio no es muy importante para la repercusión del ATM. Lo importante es que haya una distancia, y que debería ser al menos 2cm. Y que si hay más de 15cm de distancia se aumenta el riesgo de convecciones y condensaciones dentro de la cámara.

## 6.2 HERMETICIDAD

Como se ve en la parte anterior, la cámara de aire por sí misma tiene una capacidad aislante- con la condición de que el aire este en un estado inmóvil. Este estado inmóvil se asegura verificando que los bordes del ATM contra el marco están bien sellados- que son “herméticos”. Esto introduce dos consideraciones de diseño importantes: la distancia ( $d$ ) entre el ATM y el componente fijo al que se coloca y la hermeticidad de la junta perimetral.

Con el objetivo de aprovechar el aire atrapado, la hermeticidad es siempre importante. Si el ATM está colocado en el interior, la hermeticidad es aún más importante por dos razones. Primero, para evitar pérdidas de calor por convección: si se deja al aire caliente en el interior del edificio pasar por la cámara entre el ATM y el vidrio, se enfriará cuando se pone en contacto con la superficie más fría del vidrio. En algunos casos, por ejemplo si el ATM es de cortinas térmicas, la falta de juntas bien selladas puede, en teoría aumentar las pérdidas de calor. La otra razón es la condensación: este mismo aire caliente, en enfriarse, podrá convertirse en condensación no deseada en el vidrio y el marco- posiblemente dañando la construcción.

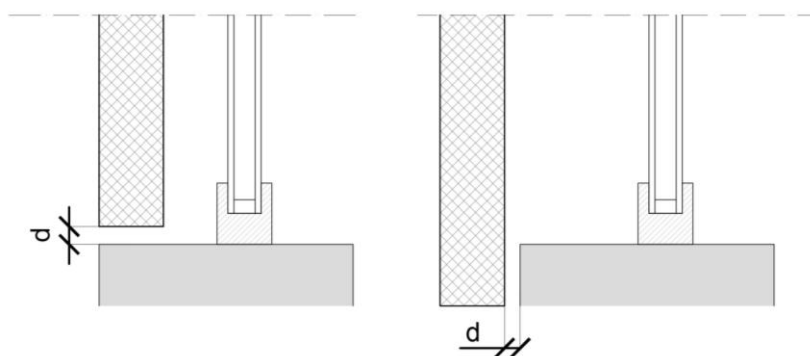


Fig. 63 La distancia ( $d$ ) entre el ATM y el componente fijo, definido por dos distintos sistemas. (Elaboración propia)

Si está colocado en el exterior, y en una ubicación ventosa, la hermeticidad es esencial- tanto para la seguridad del sistema como para asegurarse que el aire en la cámara está en un estado inmóvil.

*¿Cuál debería ser la separación perimetral?*

- Para comprobar, se hizo una simulación rápida con nuestra célula de referencia, el edificio E3, el acristalamiento A2 y el ATM de referencia, de 5cm de EPS. Observando el

cambio en las pérdidas de calor cambiando la distancia perimetral se presenta los siguientes resultados:

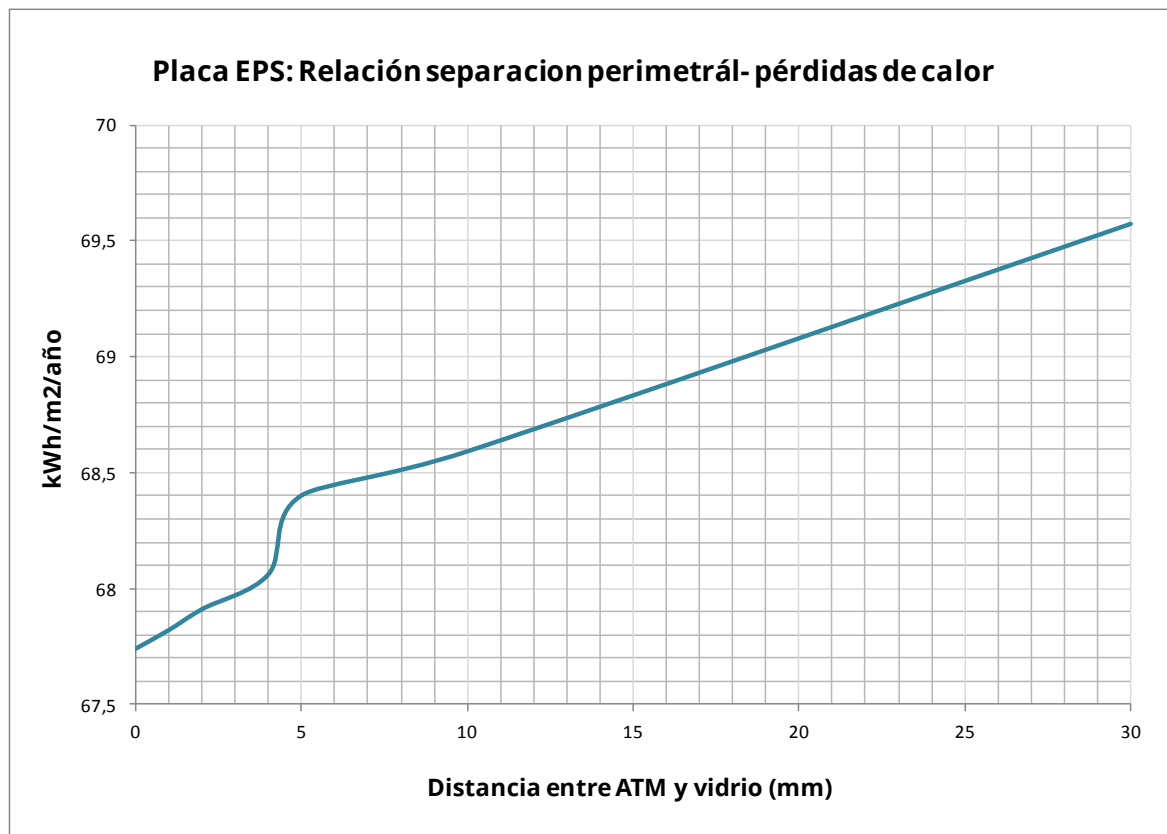


Fig. 64 La repercusión de la distancia perimetral entre el ATM y el componente fijo sobre las pérdidas de calor. (La unidad de medida de la distancia es mm)

Una distancia de 0 cm significa que el ATM está totalmente sellado por los bordes. A partir de 0, cada milímetro más de separación lleva a un aumento significativo en las pérdidas de calor. Si la separación es 0mm, la repercusión del ATM sobre las pérdidas totales del edificio es de **12%**, y si la separación es de 50mm, la repercusión es solo de **8%**.

No hay una respuesta final a la pregunta, pero es muy importante para la capacidad aislante y el impacto total del ATM que el perímetro esté bien sellado. Esto es especialmente importante si se coloca el ATM en el interior, por cuestiones de convección y condensación. Siempre hay que intentar sellar los bordes lo mejor posible- cuanto más mejor.

En la opinión del autor, se debería aspirar a que la distancia (d) sea tan cerca como posible a 0 y no más de 4mm.

*¿Son igualmente importantes el borde superior, inferior y los lados?*

-En principio, la respuesta es sí. Sin embargo, si se enfrenta con un ultimátum y hay que priorizar, el borde superior y por los lados son los más importantes porque impiden más eficazmente la convección no deseada del aire interior.

### ¿Cómo se consigue una junta hermética?

- Las soluciones en Fig. 63 son ambas buenos puntos de partida y se pueden elaborar más usando burletes de goma y fresas en el ATM/componente fijo. La solución de la junta depende naturalmente del sistema de operación. En la figura inferior, las soluciones 1 y 2 se basan en un sistema verticalmente corredizo, las 3 y 4 se basan en un sistema oscilante.

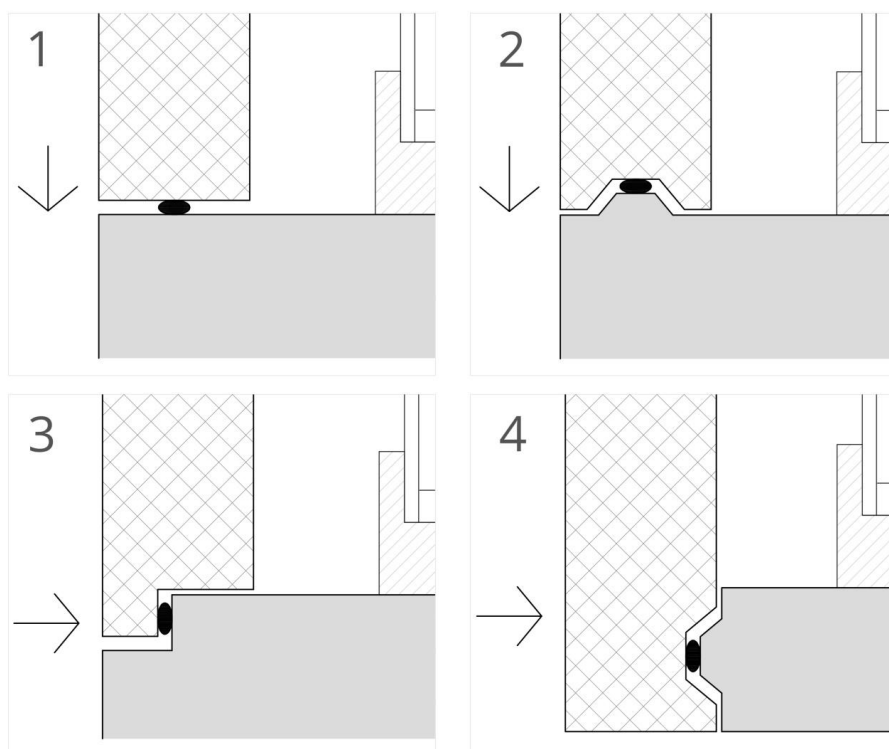


Fig. 65 Algunas soluciones con respecto a la hermeticidad de la junta. (Elaboración propia)

En la Fig. 65 se recomienda las soluciones 2,3 y 4 más que la solución 1 porque dan hermeticidad adicional. De todos modos, son solo propuestas esquemáticas y la solución adoptada debería ser el resultado de un estudio específico para cada caso.

## 6.3 OPERATIVIDAD Y CONVENIENCIA

Lógicamente, el ATM funciona solo si está en posición activa- cubriendo la ventana. Paradójicamente, su movilidad, la ventaja principal y la esencia del ATM- constituye también su talón de Aquiles.

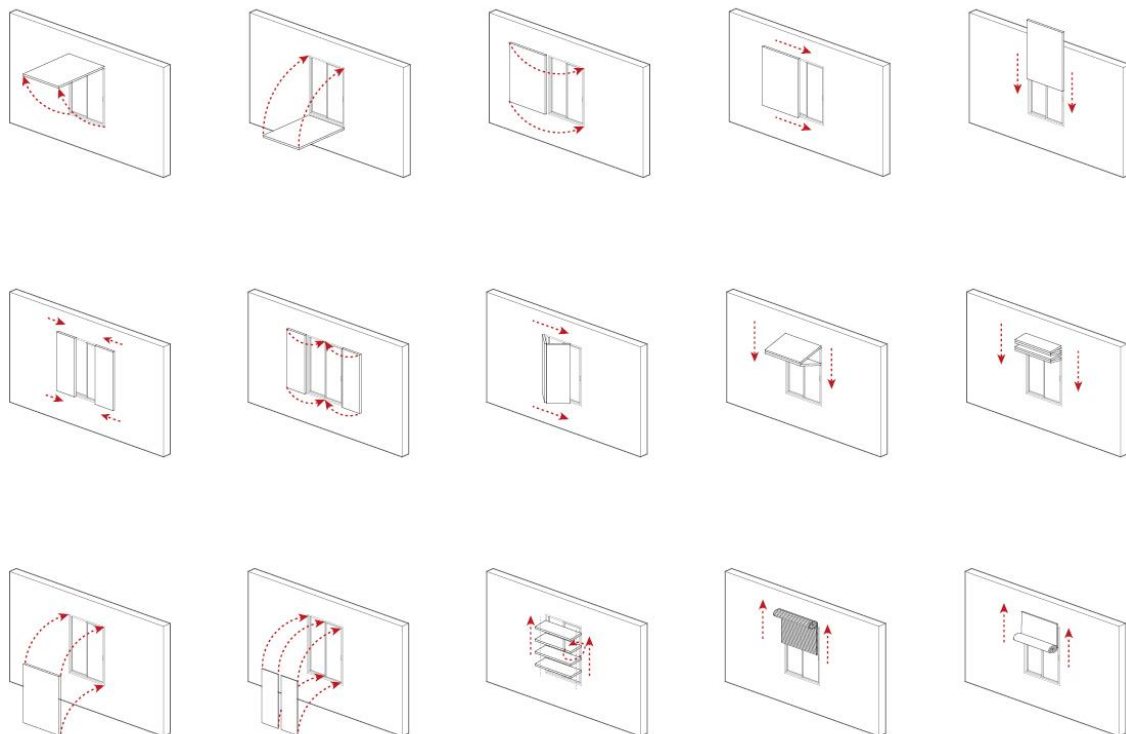
Si el ATM no sigue regularmente su horario programado, pierde su sentido.

Si se opera manualmente debería estar diseñado para asegurar una operación lógica y fácil, con poco esfuerzo físico o mental. Si la operación es una lucha cada vez, es más probable que el usuario se irrite y que el ATM se deje abierto. Por eso, la facilidad de operación es una de las consideraciones más importantes en el diseño de un ATM.

Hay una gran variación de sistemas de apertura, algunas listadas en la figura Fig. 66. El sistema de apertura depende en gran parte de la forma y tamaño de la ventana, el acceso y el espacio alrededor de la ventana. Lo más importante es que el diseño sea lógico, sencillo y fácil de operar. El sistema teóricamente más fácil y conveniente de todos es uno de aislamiento translucido, donde el ATM puede estar dejado en su posición durante días sin ninguna interacción del usuario.

Además, es importante tener en cuenta que el ATM, en posición abierta, no obstaculice la entrada de luz y calor a través de la ventana.

### Exteriores:



## Interiores:

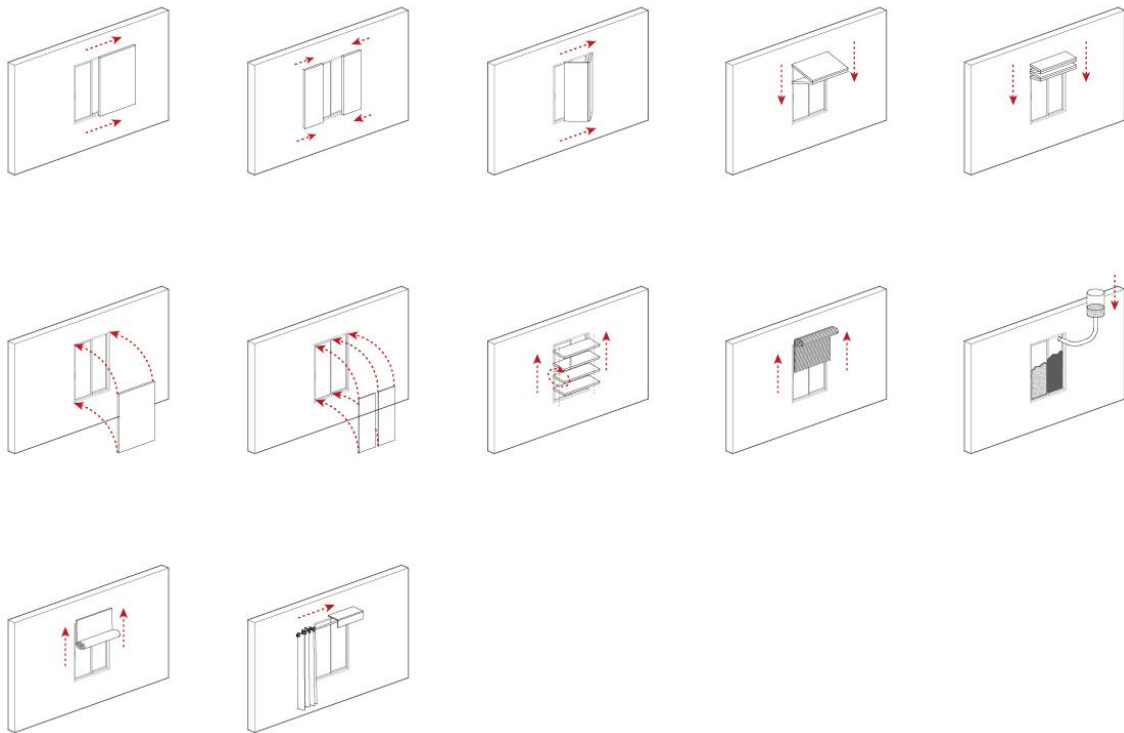


Fig. 66 Sistemas de apertura (Elaboración propia)

Una vez determinado el sistema de apertura, hay que considerar el sistema de accionamiento- lo que mueve el sistema. El accionamiento del ATM puede ser de diferentes tipos:

### 1. Manual

Se mueve el ATM manualmente, directamente con el esfuerzo del usuario.

### 2. Manual asistido

Se mueve el ATM con la mano, pero con ayuda de un sistema mecánico que alivia el esfuerzo físico del usuario.

### 3. Mecánico/Eléctrico

El ATM se mueve automáticamente con el accionamiento de un pulsador.

### 4. Mecánico/ Eléctrico/Automático

El sistema se mueve totalmente independiente del usuario según horario programado o condiciones climáticas.

Con respecto al impacto del ATM, las opciones 1 y 2 son las más arriesgadas porque exigen un cierto nivel de compromiso por parte del usuario. En cambio, son las opciones más económicas- especialmente la opción 1. En edificios residenciales de pequeño tamaño puede ser una opción si el usuario está mínimamente comprometido con el ahorro energético.

La opción 3 es naturalmente más costosa y plantea cuestiones de mantenimiento, pero en cambio es más fácil de operar y su uso regular es más fácil de asegurar al no suponer un esfuerzo adicional a los. La opción 4 es sin duda la que tiene una mayor repercusión económica pero también la que ofrece mayores prestaciones energéticas al operar siempre atendiendo a las condiciones climáticas y/o al horario independientemente de la presencia o no del usuario. Su desventaja además del precio es la poca concienciación que requiere por parte del usuario y la poca pedagogía en el ahorro energético que transmite.

La elección debería hacerse en gran parte por la tipología y tamaño del edificio y el tamaño y cantidad de acristalamiento. En una casa unifamiliar con una cantidad limitada de ventanas, la solución 1 con un usuario concienciado puede ser suficiente. En un edificio de oficinas con grandes superficies acristaladas y sin usuarios responsables, la solución 4 tiene más sentido.

La elección de sistema de apertura y accionamiento debería ser evaluada específicamente en cada caso, no hay una solución “mejor”.

## 6.4 DURABILIDAD

La vida útil esperada de un ATM depende de su coste de inversión. Si el coste es alto, el sistema debería ser diseñado para durar 15-20 años. Si el coste es bajo, se podrían aceptar duraciones considerablemente más cortas. Referente a la durabilidad se debería considerar lo siguiente:

- Durabilidad frente a operativa normal
- Durabilidad y facilidad frente a limpieza y mantenimiento periódico
- Exposición prolongada a radiación solar y calor (especialmente durante el verano)
- Tratamiento áspero por los niños
- Exposición prolongada a humedad producto de condensación
- Impacto de agentes climáticos como sol, lluvia, nieve, viento, etc. (si el ATM está colocado afuera)

Si se trata de un ATM de panel opaco es importante considerar la posibilidad de deformaciones. Un panel opaco se puede deformar por las siguientes razones:



**1. Movimientos diferenciales**

El panel está en riesgo de deformarse si, por ejemplo, consiste en varias hojas y las dos caras tienen distintos materiales. Si una cara se encoge o expande de manera diferente que la otra, el panel podría deformarse.

**2. Dilataciones y contracciones por agentes climáticos**

Deformación causada por distribución desigual de radiación solar, calor o humedad.

**3. Por su propio peso**

Deformación causada por estrés mecánico durante el transporte e instalación o durante su vida útil, si los herrajes de sujeción no están bien dimensionados.

Los puntos 1 y 2 se resuelven evaluando bien el clima existente y considerando las tolerancias necesarias de los materiales de antemano. Una aproximación sería considerar la junta perimetral suficiente para absorber las dilataciones y a la vez rellenarla con algún material elástico (burlete) que permita la necesaria hermeticidad tal como funcionan las carpinterías para ventanas modernas.

La deformación tiene relación con el tamaño y espesor del panel. En principio, el riesgo de deformaciones aumenta cuanto más grande es el panel y disminuye cuanto más grueso es.

El Punto 3 se resuelve asegurando que la estructura del panel, ya sea monolítica, del mismo material o de tipo entramado, tiene suficientemente resistencia mecánica. Además, se debería evitar que el panel se quede colgado en posición horizontal ni en posición inclinada, por ejemplo descansando contra una pared.

Por su propia naturaleza, el ATM tendrá partes y componentes móviles que eventualmente se desgastan. Aún la operación normal del sistema causa desgaste de los componentes, ya sea las bisagras, puntos pivotantes, juntas, etc.

Estas partes del sistema exigen un diseño especialmente cuidadoso.

Muchas veces, es mejor anticipar el desgaste del sistema, diseñándolo de una manera que facilite el mantenimiento y que sea relativamente fácil y económico cambiar sus partes desgastadas.

Un sistema ATM normalmente tiene incorporados componentes metálicos que siempre son expuestos a la corrosión. Por eso, si el ATM está ubicado en un entorno marítimo es importante tenerlo en cuenta. Si el ATM está situado muy cerca del mar, se recomienda colocarlo en el interior si es posible, o bien en el exterior reduciendo el número de componentes metálicos del sistema, y realizándolos con materiales i/o tratamientos resistentes a la corrosión salina.

## 6.5 EMPLAZAMIENTO RESPECTO A LA VENTANA (¿DENTRO O FUERA?)

Esta es una cuestión recurrente en el campo del ATM y una consideración importante. En términos de rendimiento térmico, cálculos con DesignBuilder y la célula de referencia muestran que hay muy poca o ninguna diferencia si el ATM está colocado en el exterior o en el interior. En comparación con un sistema de protección solar, esto es una ventaja por sí mismo porque se puede elegir libremente la posición sin ninguna repercusión en el rendimiento.

En la literatura del ATM hay bastantes opiniones sobre este tema. Borer & Harris (1998) recomiendan colocar el ATM exterior porque impide condensación en el vidrio y porque puede ser utilizado como protección solar y para seguridad. Este argumento está apoyado por Goulding, Lewis & Steemers (1993). En los dos libros que tratan únicamente del ATM, *Thermal Shutters & Shades* (Shurcliff, 1980) y *Movable Insulation* (Langdon, 1980) se evita dar una respuesta final a esta cuestión, por miedo a ser reduccionistas y porque la realidad no es tan simple.

Estoy de acuerdo con esta filosofía y en vez de dar una respuesta final, se presenta lista de consideraciones o ventajas/desventajas asociados con ambas soluciones.

### INTERIOR

---

#### Ventajas

- La operación del sistema sea manual o mecánico es más fácil desde el interior
- El sistema puede ser más ligero en términos de resistencia mecánica y durabilidad, los agentes climáticos no son significativos (agentes climáticos: lluvia, viento, corrosión, hielo, radiación solar, etc.)
- No interfiere con la fachada (opción para edificios históricos/antiguos)
- Mejora el confort interior al evitar distorsiones en las superficies radiantes interiores

#### Desventajas

- Riesgo de condensación en el vidrio
- Deben ser diseñados con respecto a seguridad de incendios, liberación de sustancias químicas tóxicas, heridas mecánicas y seguridad frente a los niños
- La apariencia del espacio interior se ve afectada

## EXTERIOR

### Ventajas

- Se evita el riesgo de condensaciones
- Puede ser utilizado como protección solar (Una protección solar es más eficaz si está colocada afuera)
- Puede ser utilizado para reflejar más luz dentro del edificio durante el invierno (concepto “light-shelf”)
- Se permite al sistema ser más grande porque no obstaculiza el espacio interior. Integración y valor arquitectónico

### Desventajas

- Deben ser diseñados para aguantar la degradación por agentes climáticos
- Difícil operación desde el exterior, a menos que sea operado por un sistema automático
- Afecta la arquitectura y la expresión del edificio

A menudo, el emplazamiento del ATM ya viene dado por condiciones externas, por ejemplo si no hay espacio en uno de los lados- haciendo la elección fácil. Otras veces hay que elegir, y en estos casos se debería tener en cuenta las consideraciones anteriores.

En la opinión del autor, si se excluye las consideraciones económicas, hay más y más fuertes argumentos para el emplazamiento exterior:

El sistema no interferirá con el espacio interior, y si es automático, es más seguro respecto a la operación porque se reduce el riesgo de que los obstáculos (por ejemplo juegos dejado por los niños) interferirán con la operación automática- posiblemente causando daños al sistema.

El sistema puede doblar como protección solar durante el verano y si el diseño lo permite puede ayudar a reflejar luz natural dentro del edificio. Añade protección y seguridad física a las ventanas. No hay casi riesgo de condensación y el sistema puede integrarse en la fachada y añadir valor arquitectónico- formando una fachada dinámica.

## 6.6 ESTÉTICAS

Aunque puede parecer de menor importancia y puede ser muy subjetivo, este aspecto es una consideración muy importante. De hecho, puede ser lo más importante para una persona que toma decisiones, enfrentado con la elección de incorporar un ATM o no. Langdon (1980) expresa, de hecho, que la apariencia del sistema será probablemente la característica más importante en la elección del sistema.<sup>30</sup>

<sup>30</sup> (Langdon, 1980, p. 61)

Es importante que el sistema sea estéticamente agradable y que se considere este aspecto en el diseño. Sin embargo, la apariencia estética es algo muy subjetivo y por eso no se quiere definir criterios ni instrucciones aquí.

## 6.7 ECONOMÍA

La economía es también una consideración importante, cada vez las decisiones de índole económica toman mayor importancia en las decisiones finales respecto a la edificación. En términos económicos, el sistema óptimo debería ofrecer el máximo beneficio (ahorro energético y por tanto económico) para cada euro de coste de inversión.

Esto plantea la cuestión del tiempo de amortización porque en términos económicos es lo que es más fácil medir. El tiempo de amortización es el tiempo necesario para que el ahorro energético/económico obtenido por el sistema cubra el coste de inversión del propio sistema. El ahorro energético asociado con los sistemas más simples y económicos puede cubrir el coste de inversión en menos de un año, aunque un tiempo de amortización más normal es de 3-5 años. Algunos sistemas más costosos pueden tener un tiempo de amortización de más de 15 años.

El tiempo de amortización es relativamente fácil de intuir con los programas de evaluación energética. En nuestra célula de referencia (E3) con el acristalamiento A3 y el ATM de 5cm de EPS se estima un ahorro de energía (solo para calefacción) anual de 8,05 kWh/m<sup>2</sup>año. Si se multiplica esto por la superficie útil del edificio y el precio de un kWh de calefacción en la ubicación en cuestión se obtiene el ahorro económico anual. Nuestra célula de referencia tiene una superficie útil de 41m<sup>2</sup> y si el precio por kWh es de 0,22 €, el ahorro anual será de 72.6 €. Si el coste del sistema ATM fuera 350 €, el tiempo de amortización será:

$$\frac{350}{72.6} = 4,82$$

El tiempo de amortización, con un cálculo simplificado, sería un poco menos de 5 años, sin tener en cuenta la evolución de los precios de la energía ni posibles costos financieros.

Si el sistema ATM dobla como protección solar, se puede incluso, considerar el ahorro de energía para refrigeración durante el verano, tanto como el ahorro económico de no comprar un sistema de protección solar separada. Aunque el tiempo de amortización permite medir en términos económicos la repercusión de un ATM, no debería ser el único criterio de elección de un sistema. A parte del ahorro económico se debería considerar las otras ventajas no siempre tan cuantificables listadas en este capítulo. Además, no hay que olvidar los beneficios y la responsabilidad colectiva frente al medioambiente que ofrece un sistema ATM.





## **07** FUENTES

## 7.2 BIBLIOGRAFIA

- ISO 10077. (2006). *Thermal performance of windows, doors and shutters - Calculation of thermal transmittance*. International Organization for Standardization.
- Achard, P., & Gicquel, R. (1986). *European passive solar handbook*. Brussel: Commision of the European Communities.
- aeoriskaos.blogspot.com. (2009). *aeoriskaos.blogspot.com*. Obtenido de El Oasis del KAOS: <http://aeoriskaos.blogspot.com.es/>
- Akershusbasen. (Año desconocido). *digitaltmuseum.no*. Hentet 07 09, 2015 fra [digitaltmuseum.no](http://digitaltmuseum.no/): [http://digitaltmuseum.no/011022540888/?name=Vinduslemmer&advanced\\_search=1&pos=2&count=3](http://digitaltmuseum.no/011022540888/?name=Vinduslemmer&advanced_search=1&pos=2&count=3)
- Araujo, R. (Fecha desconocido). *The building as an energy interchange*. Madrid: Tectonica-online.
- ArchDaily. (04 de 03 de 2015). *House with One Wall / Christian Kerez*. Recuperado el 06 de 03 de 2015, de <http://www.archdaily.com/604014/house-with-one-wall-christian-kerez/>
- Archiproducts. (s.f.). *archiproducts.com*. Recuperado el 05 de 07 de 2015, de [archiproducts.com: http://www.archiproducts.com/en/products/93978/assembled-systems-automatic-garage-door-butterfly-verolux.html](http://www.archiproducts.com/en/products/93978/assembled-systems-automatic-garage-door-butterfly-verolux.html)
- Architectdesign. (2014). *architectdesign.blogspot.com.es*. Retrieved 03 26, 2015, from [http://architectdesign.blogspot.com.es/2014\\_07\\_27\\_archive.html](http://architectdesign.blogspot.com.es/2014_07_27_archive.html)
- Baker, N., & Steemers, K. (2000). *Energy and environment in architecture: A technical design guide*. New York: E & Fn Spon.
- Bayer MaterialScience. (2015). *Makrolon® multi UV 5M/40-20 datasheet*. Bayer MaterialScience.
- Borer, P., & Harris, C. (1998). *The Whole House Book: Ecological building design and materials*. Powys, AZ: The Centre for Alternative Technology.
- Brett Martin Plastic Sheets. (2015). *Brett Martin Plastic Sheets*. Obtenido de <http://www.brettmartin.com/en-gb/plastic-sheets/products/conservatories/energy-efficient.aspx>
- CCHRC. (2011). *Evaluating window insulation for cold climates*. Fairbanks, Alaska: Cold Climate Housing Research Center.
- Cinzia Buratti, E. M. (2011). Transparent insulating materials for buildings energy saving: experimental results and performance evaluation.
- Clark II, W. H. (1998). *Análisis y gestión energética de edificios: Métodos, proyectos y sistemas de ahorro energético*. Madrid: McGraw Hill.
- commonwealthsolar.com. (2015). *commonwealthsolar.com*. Retrieved 07 05, 2015, from [commonwealthsolar.com: http://www.commonwealthsolar.com/cwbead.htm](http://www.commonwealthsolar.com/cwbead.htm)
- Curtainconections. (n.d.). *www.curtainconnections.com.au*. Retrieved 03 26, 2015, from [http://www.curtainconnections.com.au/energy\\_efficient\\_home\\_diagram.jpg](http://www.curtainconnections.com.au/energy_efficient_home_diagram.jpg)
- Designing Buildings Wiki. (2015). *Designing Buildings Wiki*. Obtenido de Designing Buildings Wiki: [http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Transparent\\_insulation](http://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Transparent_insulation)
- DETAIL Green. (2012). La ventana del futuro. *DETAIL Green* (2), pág. 175.
- Dezeen. (14 de 11 de 2014). *www.dezeen.com*. Recuperado el 26 de 03 de 15, de <http://www.dezeen.com/2014/11/15/bellevue-terrace-philip-stejskal-architecture-timber-shutters-australia/>



- Ecosmart. (s.f.). *ecosmartis.com*. Recuperado el 07 de 2015, de *ecosmartis.com*: <http://www.ecosmartis.com>
- Enova. (2013). *Enova*. Hentet 02 05, 2015 fra Enova: <http://www.enova.no/innsikt/rapporter/byggstatistikk-2013/4-energibruk-2013/43-energibruk-i-ulike-bygningstyper/929/0/>
- ES-SO. (2012). *Solar shading for low energy buildings: How shutters and blinds reduce the energy needs of buildings and improve their thermal and visual comfort*. Meise, Belgium: European Solar-Shading Organization.
- Filt3rs. (2013). *Filt3rs.net*. Obtenido de <http://filt3rs.net/case/sliding-wooden-shutters-joao-alvaro-rocha-337>
- Filt3rs.net*. (n.d.). Retrieved from *Filt3rs.net*: <http://filt3rs.net>
- Flickr.com. (n.d.). *Yahoo*. Retrieved from Flickr.com: [www.flickr.com/](http://www.flickr.com/)
- Gaisma. (s.f.). *Gaisma.com*. Recuperado el 06 de 03 de 2015, de [www.gaisma.com](http://www.gaisma.com)
- Google . (2013). Retrieved from Google Books Ngram Viewer: <https://books.google.com/ngrams>
- Goulding, J. R., Lewis, J. O., & Steemers, T. C. (1993). *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook*. London: B.T. Batsford Limited.
- HILIT. (2005). *Super insulating silica aerogel glazing*.
- HILIT. (2005). Super insulating silica aerogel glazing. *Results from EU Project HILIT+ (No. ENK6-CT-2002-00648)* .
- iPHA, I. P. (2015). *Passive House Guidelines*. Retrieved 06 12, 2015, from Passive House Guidelines: [http://www.passivehouse-international.org/index.php?page\\_id=80](http://www.passivehouse-international.org/index.php?page_id=80)
- Irfen S.A.U. (2015). *Placas planas de policarbonato celular datasheet*. España: Irfen S.A.U.
- Kalema, T., & Pylsy, P. (2008). *Accuracy of the Calculation of Heating and Cooling Energy Needs in Nordic Conditions*. Tampere, Finland: Tampere University of Technology.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2010). *Byggteknisk forskrift (TEK 10)*. Oslo: Kommunal- og moderniseringsdepartementet.
- Kristinsson, J. (2012). *Integrated Sustainable Design*. Delft: Delftdigitalpress.
- Langdon, W. K. (1980). *Movable Insulation*. Emmaus, Pa: Rodale Press.
- Olsen, I. (1929). *digitaltmuseum.no*. Hentet 07 09, 2015 fra *digitaltmuseum.no*: [http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced\\_search=1&pos=0&count=3](http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced_search=1&pos=0&count=3)
- PassivHaus Institut. (2015). *Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components*. Germany: Passivhaus Institut.
- Patents, G. (s.f.). *Google Patents*. Obtenido de Google Patents: <http://www.google.com/patents/>
- plantandgardens.com. (2015). *www.plantandgardens.com*. Recuperado el 05 de 07 de 2015, de *www.plantandgardens.com*: <http://www.plantandgardens.com/insulationinsulating-shutters/>
- RDH. (2013). *RDH*. Obtenido de <http://rdh.com/>
- Shurcliff, W. A. (1980). *Thermal Shutters and Shades*. Brick House Pub. Co.
- SINTEF-Bbyggforsk. (2014). *Isolerruter: Lys- og varmetekniske egenskaper*. Oslo: SINTEF Byggforsk.
- SSB. (2014). *Statistisk Sentralbyrå*. Hentet fra Statistisk Sentralbyrå: <http://www.ssb.no>
- Tectonica. (2015). Recuperado el 23 de 05 de 2015, de [https://vpn.upc.edu/products/1241/sheets\\_polycarbonate\\_makrolon/DanaInfo=www.tectonica-online.com+#](https://vpn.upc.edu/products/1241/sheets_polycarbonate_makrolon/DanaInfo=www.tectonica-online.com+#)

ThermalCalcOnline. (s.f.). *thermalcalconline.com*. Recuperado el 06 de 03 de 2015, de <http://www.thermalcalconline.com/u-value-calculator/u-value-glass/u-value-glass.html>

UN-Habitat, U. N. (1990). *National design handbook prototype on passive solar heating and natural cooling of buildings*. United Nations Centre for Human Settlements (Habitat).

Van Dijk, H., & Arkesteijn, C. (1987). *Windows and Space Heating Requirements; Parameter studies leading to a simplified calculation method*. International Energy Agency.

Van Dijk, H., & Arkesteijn, C. (1987). *Windows and Space Heating Requirements; Parameter studies leading to a simplified calculation method*. Delft: International Energy Agency.

Verolux. (2011). *www.verolux.info*. Recuperado el 05 de 07 de 2015, de [www.verolux.info](http://www.verolux.info/web/en/applicazioni-e)

Wikipedia. (2015). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: <http://en.wikipedia.org>

## 7.3 IMAGENES Y GRÁFICOS USADOS

Cover: Bråthen, Sveinung . *Fiskehytte i Lærdal*. 2008. [www.klikk.no](http://www.klikk.no)

<i>Fig. 1 El principio básico de un Aislamiento Térmico Móvil: maximizar entrada de luz y calor solar durante el día, minimizar las pérdidas de calor durante la noche. (Elaboración propia)</i>	12
<i>Fig. 2 Algunos sistemas de apertura (Elaboración propia)</i>	13
<i>Fig. 3 El Aislamiento Térmico Móvil como alternativo a las estrategias más convencionales para reducir las pérdidas de calor por aberturas. (Elaboración propia).</i>	14
<i>Fig. 4 <b>Izquierda:</b> Demanda de calefacción anual como función de superficie acristalada y tipo de acristalamiento en la fachada sur, para un edificio en el Reino Unido. (Baker &amp; Steemers, 2000)</i>	
<i>Fig. 5 <b>Derecha:</b> Factor de utilización de ganancias solares como función de ratio ganancias/pérdidas para un edificio de oficinas de peso medio en el Reino Unido (Baker &amp; Steemers, 2000).</i>	23
<i>Fig. 6 Las curvas muestran la relación entre la demanda de energía para calefacción e iluminación en función con la superficie acristalada en un edificio de oficinas dando al sur en el Reino Unido. (Baker &amp; Steemers, 2000)</i>	25
<i>Fig. 7 Valor U modificado de diferentes tipos de acristalamiento (en marco de madera) con cortinas pesadas y persianas opacas aisladas (ATM) aplicadas. Cuando el valor U del propio acristalamiento se mejora, el efecto de los ATM se disminuye (Borer &amp; Harris, 1998)</i>	27
<i>Fig. 8 <b>Izquierda:</b> Ejemplos de aislamiento móvil interno (Goulding, Lewis, &amp; Steemers, 1993)</i>	28
<i>Fig. 9 <b>Derecha:</b> Explorando posibilidades externas (Goulding, Lewis, &amp; Steemers, 1993)</i>	28
<i>Fig. 10 <b>Izquierda:</b> Transmisión de luz y energía solar para una ventana aislante de acristalamiento triple con vidrio claro (Grupo 0) (SINTEF-Byggforsk, 2014)</i>	30
<i>Fig. 11 <b>Derecha:</b> Transmisión de luz y energía solar para una ventana de triple acristalamiento con vidrio con capa bajo E (Grupo 3) (SINTEF-Byggforsk, 2014)</i>	30
<i>Fig. 12 Valor U centro y factor solar (Valor G) par varias ventanas en el mercado en Noruega. Las ventanas que tienen Valor U centro más alto son de vidrio normal sin capas bajo-E. Datos de entrada de: (SINTEF-Byggforsk, 2014), Cuadro: Elaboración propia</i>	31
<i>Fig. 13. Movable insulation, thermal shades, thermal shutters, (Google , 2013)</i>	32
<i>Fig. 14 Movable insulation, triple glazing, (Google , 2013)</i>	33

Fig. 15 <i>Sustainable building, Sustainable construction, sustainable architecture</i> , (Google , 2013) .....	33
Fig. 16 <b>Izquierda:</b> Porticones opacos exteriores (Flickr.com) Fig. 17: <b>Derecha:</b> Contraventanas opacas interiores, típicas en los edificios en el Eixample, Barcelona (Filt3rs.net) .....	36
Fig. 18 <b>Izquierda:</b> Porticones opacos de madera en un edificio construido alrededor del año 1680 en Røros, Noruega. El edificio fue derribado en 1929. (Olsen, 1929) Fig. 19 <b>Derecha:</b> Porticones opacos decorados con un patrón de rosas, muy típico en Noruega. (Akershusbasen, Año desconocido) .....	37
Fig. 20 Persianas roller horizontales por Antoni Gaudí en El Capricho Comillas (Filt3rs.net) .....	38
Fig. 21 La cenefa, no solo elemento decorativo, sino una herramienta eficaz contra la convección (Architectdesign, 2014) .....	39
Fig. 22 Los ATM visibles en la fachada (Filt3rs, 2013).....	46
Fig. 23 Los porticones corredizos integrados. Alves, Luis Ferreira (Filt3rs, 2013).....	46
Fig. 24 Detalle horizontal (Filt3rs, 2013).....	47
Fig. 25 Los ATM formando una fachada dinámica .....	48
Fig. 26 Las imágenes muestran los movimientos en la fachada hechos posibles por los porticones térmicos (Dezeen, 2014).....	49
Fig. 27 Los porticones vista desde el exterior (Todas las imágenes y ilustraciones aquí son de filt3rs.net, 2013).....	50
Fig. 28 Cerrados, los paneles dan continuidad a la fachada. (Dezeen, 2014) .....	51
Fig. 30 Vivienda en Premià de Dalt, Enric Corbat.....	52
Fig. 31 Viviendas en St. Nazaire de Lacaton & Vassal (©Philippe Ruault) .....	54
Fig. 32 Cortinas con hoja reflejante integrada (©Philippe Ruault).....	55
Fig. 33 La valorización del coste no es preciso y es sujeto en gran medida a la opinión del autor. Lo mismo vale para las prestaciones, aunque estas se basan también en los cálculos hechos en este trabajo junto con el estudio de prestaciones de distintos sistemas ATM, Evaluating window insulation for cold climates (Cold Climate Housing Research Center Alaska, 2011) .....	56
Fig. 34 Todas las imágenes en esta sección pertenecen a tamiluz.es .....	58
Fig. 35 Varias opciones de sistema de apertura .....	59
Fig. 36 Sistema de operación y las lamas con relleno de espuma de poliuretano (Verolux, 2011) .....	60
Fig. 37 El sistema como puerta de garaje (Archiproducts).....	60
Fig. 38 Las cortinas térmicas. A la derecha, su composición interior. (artwithanrvalue.com, 2015) .....	61
Fig. 39 Resolviendo las juntas con velcro o magnetos (blackoutcurtainfabric, 2015) Aunque, la composición compuesta de las cortinas térmicas es un buen enfoque, son todavía cortinas y térmicamente están entre los sistemas de peor rendimiento. Por otro lado, se hacen atractivas por su precio económico y facilidad de instalación. De hecho, las dos imágenes a la izquierda arriba son de un blog “do-it-yourself”, mostrando que se puede hacerse sus propias cortinas térmicas. ....	62
Fig. 40 Como funciona el sistema. (Todas las ilustraciones e imágenes en esta sección pertenecen a EcoSmart Insulating Shadestm.) .....	63
Fig. 41 El funcionamiento de los rieles (Ecosmart) .....	64
Fig. 42 (Todas las ilustraciones y imágenes en esta sección pertenecen a DUETTE® ARCHITELLA® de Hunter Douglas ©).....	64
Fig. 43 Como funciona el sistema Beadwall (plantandgardens.com, 2015).....	65

<i>Fig. 44 Las cuentas rellenan la cámara entre los paneles de vidrio</i> (commonwealthsolar.com, 2015).....	66
<i>Fig. 45 La valorización del coste y no es preciso y es sujeto por gran medida a la opinión del autor. Lo mismo vale para las prestaciones, aunque ellas se basan también en los cálculos hechos en este trabajo junto con el estudio de prestaciones de distintos sistemas ATM, Evaluating window insulation for cold climates, realizado por Cold Climate Housing Research Center (Alaska, 2011). .....</i>	67
<i>Fig. 46 Distintos tipos de policarbonato celular (Bayer, 2015).....</i>	69
<i>Fig. 47 Ejemplo de distribución de pérdidas de calor para un edificio de apartamentos y uno de oficinas con estándar de casa pasiva en Noruega. Porcentaje de pérdidas a través de partes del edificio, por infiltración y ventilación. (SINTEF-Byggforsk, 2014) .....</i>	75
<i>Fig. 48 Tabla mostrando el impacto de los mismos sistemas en ubicaciones geográficas distintas (Langdon, 1980) .....</i>	80
<i>Fig. 49 Asignación de las zonas climáticas (regiones con requerimientos similares)</i> (PassivHaus Institut, 2015) .....	80
<i>Fig. 50 House with One Wall, Zurich, Suiza, , Arquitecto Christian Kerez 2007 .....</i>	81
<i>Fig. 51 Oficinas PWC, Oslo, Noruega, A-Lab Architects 2007 .....</i>	81
<i>Fig. 52 Resultados de las mediciones en los casos de estudio (CCHRC, 2011) .....</i>	89
<i>Fig. 53 Modelos THERM de la ventana de prueba sin y con ATM. (CCHRC, 2011).....</i>	90
<i>Fig. 54 Resultados obtenidos con THERM (CCHRC, 2011) .....</i>	90
<i>Fig. 55 Ilustración de la medida de Ag y Lg ( ISO 10077, 2006).....</i>	93
<i>Fig. 56 Resistencia térmica adicional para ventanas con porticones opacos ( ISO 10077, 2006) .....</i>	93
<i>Fig. 57 Marcado en rojo es nuestra ventana de referencia .....</i>	98
<i>Fig. 58 La temperatura del aire en Oslo. La temperatura media se basa en el promedio entre los años 1961-1990. Max. es la media de las temperaturas máximas. Min. es la media de las temperaturas mínimas. ....</i>	112
<i>Fig. 59 Zonas climáticas, (PassivHaus Institut, 2015).....</i>	132
<i>Fig. 60 La relación entre el espesor del aislante y su valor U. ....</i>	156
<i>Fig. 61 La relación entre el espesor del aislante, las pérdidas de calor y la demanda de calefacción. ....</i>	157
<i>Fig. 62 Emplazamiento del ATM respecto a la carpintería (favorable/no favorable)</i> (Elaboración propia) .....	159
<i>Fig. 63 d=distancia entre el vidrio y el ATM. (Elaboración propia) .....</i>	161
<i>Fig. 64 La distancia (d) entre el ATM y el componente fijo, definido por dos distintos sistemas. (Elaboración propia) .....</i>	163
<i>Fig. 65 La repercusión de la distancia perimetral entre el ATM y el componente fijo sobre las pérdidas de calor. (La unidad de medida de la distancia es mm) .....</i>	164
<i>Fig. 66 Algunas soluciones con respecto a la hermeticidad de la junta. (Elaboración propia)</i> .....	165
<i>Fig. 67 Sistemas de apertura (Elaboración propia) .....</i>	167

Cover: Bråthen, Sveinung . *Fiskehytte i Lærdal*. 2008. [www.klikk.no](http://www.klikk.no)

Fig. 4 “Annual heating requirements as a function of glazing ratio of south façade, for houses in the UK”, de Baker, Nick & Steemers, Koen, *Energy and Environment in Architecture*, (London: E & FN Spon, 2000) Libro. p.23

Fig. 5 “Solar Utilization Factor showing fraction of useful solar gains as a function of solar gains/loss ratio for medium-weight office building”, de Baker, Nick & Steemers, Koen, *Energy and Environment in Architecture*, (London: E & FN Spon, 2000) Libro. p.20

Fig. 6 “LT curves showing relation between heating and lighting Energy as a function of glazing ratio for a south facing office in the UK”, de Baker, Nick & Steemers, Koen, *Energy and Environment in Architecture*, (London: E & FN Spon, 2000) Libro. p.23

Fig. 7 “U-values of different glazing options (in a timber frame) with curtains and insulated shutters. As the glazing U-value improves, the effect of curtains and shutters is diminished”, de Borer, Pat & Harris, Cindy, *The Whole House Book*, (Powyz, AZ: Centre for Alternative Technology Publications, 1998) Libro. p.198

Fig. 8 “Examples of Internal Movable Insulation”, de Goulding, John R. & Lewis, J. Owen & Steemers, Theo C, *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook*, (London: B.T. Batsford, 1993) Libro. p.76

Fig. 9 “Exploring external shutter options”, de Goulding, John R. & Lewis, J. Owen & Steemers, Theo C, *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook*, (London: B.T. Batsford, 1993) Libro. p.76

Fig. 10 SINTEF. *Lys- og solenergitransmisjon for en trelags isolerrute med klart glass*. de SINTEF. *Isolerruter*. (SINTEF, 2014) p. 8. [Publicación PDF](#)

Fig. 11 SINTEF. *Lys- og solenergitransmisjon for en høyisolerende trelags isolerrute med god varmeisolasjon*. de SINTEF. *Isolerruter*. (SINTEF, 2014) p. 8. [Publicación PDF](#)

Fig. 12 *Samhørende verdier av solfaktor og senter U-verdi for noen alternative isolerruter*. de SINTEF. *Isolerruter*. (SINTEF, 2014) p. 8. [Publicación PDF](#)

Fig. 13. *Movable insulation, thermal shades, thermal shutters*, de [Google Books Ngram Viewer](#), (Google , 2013) Página Web, Accedido 12.03.15, [https://books.google.com/ngrams/graph?content=movable+insulation%2Cthermal+shutter%2Cthermal+shades&year\\_start=1950&year\\_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct\\_url=t1%3B%2Cmovable%20insulation%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Cthermal%20shutter%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Cthermal%20shades%3B%2Cc0](https://books.google.com/ngrams/graph?content=movable+insulation%2Cthermal+shutter%2Cthermal+shades&year_start=1950&year_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct_url=t1%3B%2Cmovable%20insulation%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Cthermal%20shutter%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Cthermal%20shades%3B%2Cc0)

Fig. 14. *Movable insulation, triple glazing*, de [Google Books Ngram Viewer](#), (Google , 2013) Página Web, Accedido 12.03.15, [https://books.google.com/ngrams/graph?content=movable+insulation%2Ctriple+glazing&year\\_start=1960&year\\_end=2008&corpus=15&smoothing=1&share=&direct\\_url=t1%3B%2Cmovable%20insulation%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Ctriple%20glazing%3B%2Cc0](https://books.google.com/ngrams/graph?content=movable+insulation%2Ctriple+glazing&year_start=1960&year_end=2008&corpus=15&smoothing=1&share=&direct_url=t1%3B%2Cmovable%20insulation%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Ctriple%20glazing%3B%2Cc0)

Fig. 15. *Sustainable building, Sustainable construction, sustainable architecture*, de [Google Books Ngram Viewer](https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+building%2Csustainable+architecture%2Csustainable+construction&year_start=1960&year_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct_url=t1%3B%2Csustainable%20building%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20construction%3B%2Cc0), (Google, 2013) Página Web, Accedido 12.03.15  
[https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+building%2Csustainable+architecture%2Csustainable+construction&year\\_start=1960&year\\_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct\\_url=t1%3B%2Csustainable%20building%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20construction%3B%2Cc0](https://books.google.com/ngrams/graph?content=sustainable+building%2Csustainable+architecture%2Csustainable+construction&year_start=1960&year_end=2008&corpus=15&smoothing=3&share=&direct_url=t1%3B%2Csustainable%20building%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20architecture%3B%2Cc0%3B.t1%3B%2Csustainable%20construction%3B%2Cc0)

Fig. 16 Jimenéz, Juan. *Amaiur*. 2014. [www.flickr.com](https://www.flickr.com/photos/126501379@N06/15132663139). Página Web, Accedido 12.03.15  
<https://www.flickr.com/photos/126501379@N06/15132663139>

Izquierda: Porticones *opacos exteriores*

Fig. 17 Estefanell, Roser. *Exterior louvered shutter and interior solid shutter*. 2012. [www.filt3rs.net](http://filt3rs.net). Página Web, Accedido 13.03.15  
<http://filt3rs.net/case/exterior-louvered-shutter-and-interior-solid-shutter-219>

Fig. 18 Olsen, Iver. *Gammel bebyggelse: Skanckegården i Kjerkgata på Røros*. 1929. [www.digitaltmuseum.no](http://digitaltmuseum.no). Página Web, Accedido 09.07.15.  
[http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced\\_search=1&pos=0&count=3](http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced_search=1&pos=0&count=3)

Fig. 19 Fotógrafo desconocido. *Vinduslemmer*. Año desconocido. [www.digitaltmuseum.no](http://digitaltmuseum.no). Página Web, Accedido 09.07.15  
[http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced\\_search=1&pos=0&count=3](http://digitaltmuseum.no/011012927673/?name=Vinduslemmer&advanced_search=1&pos=0&count=3)

Fig. 20 Paricio, Ignacio. *Gaudí 2: A horizontal roller blind in Comillas*. 2013. [filt3rs.net](http://filt3rs.net). Página Web, Acedido 05.07.15  
<http://filt3rs.net/photo/gaudi-2-horizontal-roller-blind-comillas-333>

Fig. 21 Architectdesign. *And I know many of you will love these formal pelmets*. 2014. [www.architectdesign.blogspot.com.es](http://architectdesign.blogspot.com.es). Página web, Accedido 26.03.15  
[http://architectdesign.blogspot.com.es/2014\\_07\\_27\\_archive.html](http://architectdesign.blogspot.com.es/2014_07_27_archive.html)

<http://madaboutinteriors.blogspot.com.es/2013/12/hotel-style-or-is-it.html>  
Página web, Accedido 02.07.15

Fig. 22 Alves, Luis Ferreira. *Casa en Santarèm*. [www.filt3rs.net](http://filt3rs.net). Página Web, Acedido 26.03.15. <http://filt3rs.net/case/sliding-wooden-shutters-joao-alvaro-rocha-337>

Fig. 23 Alves, Luis Ferreira. *Casa en Santarèm*. [www.filt3rs.net](http://filt3rs.net). Página Web, Acedido 26.03.15. <http://filt3rs.net/case/sliding-wooden-shutters-joao-alvaro-rocha-337>

Fig. 24 *Detalle constructivo, Casa en Santarem*. [www.filt3rs.net](http://filt3rs.net). Página Web, Acedido 26.03.15  
<http://filt3rs.net/case/sliding-wooden-shutters-joao-alvaro-rocha-337>

Fig. 25 Dezeen Magazine. Skagen Økontor by Various Architects. 2009.

[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com). Página web, accedido 09.04.15

<http://www.dezeen.com/2009/12/23/skagen-okontor-by-various-architects/>

Fig. 26 Dezeen Magazine. Skagen Økontor by Various Architects. 2009.

[www.dezeen.com](http://www.dezeen.com). Página web, accedido 09.04.15

<http://www.dezeen.com/2009/12/23/skagen-okontor-by-various-architects/>

Fig. 27 Shigeru Ban Architects. *Art paper museum moving façade*, by Shigeru Ban. 2012.

[www.filt3rs.net](http://www.filt3rs.net). Página web, accedido 05.07.15

<http://filt3rs.net/case/art-paper-museum-moving-facade-shigeru-ban-049>

Fig. 28 Dezeen Magazine. House by Philip Stejskal. 2014. [www.dezeen.com](http://www.dezeen.com). Página web, accedido 26.03.15

<http://www.dezeen.com/2014/11/15/bellevue-terrace-philip-stejskal-architecture-timber-shutters-australia/>

Fig. 29 Pardal, Christina. *Nuevas contraventanas: De Joao Álvaro Rocha a Dominique Perrault*. 2012. Christina Pardal March (blog personal). Página web, accedido 12.04.15

<http://cpm-arq.blogspot.com.es/2013/07/nuevas-contraventanas-de-joao-alvaro.html>

Fig. 30 Ruault, Philippe. *53 semi-collective housing units, Saint-Nazaire*. 2011.

[www.lacatonvassal.com](http://www.lacatonvassal.com). Página web, accedido 12.04.15

<http://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=58>

Fig. 31 Ruault, Philippe. *53 semi-collective housing units, Saint-Nazaire*. 2011.

[www.lacatonvassal.com](http://www.lacatonvassal.com). Página web, accedido 12.04.15

<http://www.lacatonvassal.com/index.php?idp=58>

Fig. 33 Tamiluz. Porticones opacos. 2015. [www.tamiluz.es](http://www.tamiluz.es). Página web, accedido 02.07.15

<http://www.tamiluz.es/productos/P3-porticones-contraventanas-paneles-opacos.html>

Corredera    Plegable    Levadiza    Proyectable    Abatible

Fig. 34 Tamiluz. Porticones opacos. 2015. [www.tamiluz.es](http://www.tamiluz.es). Página web, accedido 02.07.15.

<http://www.tamiluz.es/productos/P3-porticones-contraventanas-paneles-opacos.html>

Fig. 35 Archiproducts. Butterfly, Automatic garage doors. [www.archiproducts.com](http://www.archiproducts.com).

Página web, accedido 05.07.15

<http://www.archiproducts.com/en/products/93978/assembled-systems-automatic-garage-door-butterfly-verolux.html>

Fig. 36 Verolux. Garage doors, applications Elephant. 2011. [www.verolux.info](http://www.verolux.info).

Página web, accedido 05.07.15

<http://www.verolux.info/web/en/applicazioni-e>



Fig. 37 Amazon. Products. 2015. [www.amazon.com](http://www.amazon.com/Best-Home-Fashion-Insulated-Blackout/dp/B004AKCBXA?). Página web, accedido 02.07.15  
<http://www.amazon.com/Best-Home-Fashion-Insulated-Blackout/dp/B004AKCBXA?>

Funcional Art. Thermal insulated window treatments. 2015. [www.artwithanrvalue.com](http://www.artwithanrvalue.com).  
Página web, accedido 02.07.15  
<http://www.artwithanrvalue.com>

Fig. 38 Blackout curtain Fabric. *Velcro blackout kit for complete darkness*. 2015.  
[www.blackoutcurtainfabric.blogspot.com.es](http://blackoutcurtainfabric.blogspot.com.es). Página web, accedido 02.07.15  
<http://blackoutcurtainfabric.blogspot.com.es/2010/01/velcro-blackout-kit-for-complete.html>

Howdoesshe. *Brilliant D.I.Y. Magnetic Curtain!*. 2014. [www.howdoesshe.com](http://www.howdoesshe.com).  
Página web, accedido 02.07.15  
<http://www.howdoesshe.com/brilliant-d-i-y-magnetic-curtain/>

Fig. 39 Ecosmart. *Features*. 2015. [www.ecosmartis.com](http://www.ecosmartis.com). Página web, accedido 01.07.15  
<http://www.ecosmartis.com/features.html>

Fig. 40 Ecosmart. *Side track system*. 2015. [www.ecosmartis.com](http://www.ecosmartis.com). Página web, accedido 01.07.15  
<http://www.ecosmartis.com/sidetracksystem.html>

Fig. 41 Hunter Douglas. *Honeycomb Shades, Duette Architella*. 2015.  
[www.hunterdouglas.com](http://www.hunterdouglas.com). Página web, accedido 01.07.15  
<http://www.hunterdouglas.com/honeycomb-shades/duette-architella>

Fig. 42 plantandgardens.com. *Figure 10.9. The mechanics of the Beadwall system, showing the barrels used for storage of the beads when they are not serving their insulating purpose*. 2013. [www.plantandgardens.com](http://www.plantandgardens.com). Página web, accedido 05.07.15  
<http://www.plantandgardens.com/insulationinsulating-shutters/>

Fig. 43 commonwealthsolar.com. *Beadwall*. 2015. [www.commonwealthsolar.com](http://www.commonwealthsolar.com).  
Página web, accedido 05.07.15  
<http://www.commonwealthsolar.com/cwbead.htm>

Fig. 46 SINTEF. *Eksempel på fordeling av varmetap for boligblokk og kontorbygning med passivhusstandard. Andel varmetap gjennom bygningsdeler og tilslutninger, ved infiltrasjon og gjennom ventilasjon*. 2013. Byggforsk, Generelt om passivhus [www.sintef.com](http://www.sintef.com)  
Reporte PDF, Bajado 06.04.15  
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=4108>

Fig. 47 Langdon, W. K. (1980). *Movable Insulation*. Emmaus, Pa: Rodale Press. p. 35

Fig. 48 PassivHaus Institut. *Assignment of the climate zones (regions with similar requirements)*. 2015. Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components:



Transparent Building Components. p. 5. <http://www.passivhaus-institut.de>. Reporte PDF, Bajado 06.06.15

Fig. 49 Archdaily. *House with one wall*. 2015. [www.archdaily.com](http://www.archdaily.com). Página web, accedido 02.05.15. [http://www.archdaily.com/604014/house-with-one-wall-christian-kerez/54f14da6e58ecea9430001e4\\_house-with-one-wall-christian-kerez\\_concept\\_100-png/](http://www.archdaily.com/604014/house-with-one-wall-christian-kerez/54f14da6e58ecea9430001e4_house-with-one-wall-christian-kerez_concept_100-png/)

Fig. 50 Aftenposten. *Oslos styggeste bygg*. 2015. [www.aftenposten.no](http://www.aftenposten.no). Página web, accedido 02.05.15  
<http://www.aftenposten.no/spesial/bildeserier/Oslos-styggeste-bygg-6555895.html>

Fig. 52 Cold Climate Housing Research Center. *THERM 6.3 models of the base wooden framed window*. 2011. Evaluating Window Insulation Curtains, Blinds, Shutters & More. <http://www.cchrc.org>. Reporte PDF, Bajado 06.06.15

Fig. 54 ISO. *Illustration of glazed are and perimeter*. 2006. ISO 10077-1 (2006): Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance -- Part 1: General. Reporte PDF, Bajado 17.03.15

Fig. 55 ISO. *Illustration of glazed are and perimeter*. 2006. ISO 10077-1 (2006): Thermal performance of windows, doors and shutters -- Calculation of thermal transmittance -- Part 1: General. Reporte PDF, Bajado 17.03.15

Fig. 58 PassivHaus Institut. *Assignment of the climate zones (regions with similar requirements)*. 2015. Criteria and Algorithms for Certified Passive House Components: Transparent Building Components. p. 5. <http://www.passivhaus-institut.de>. Reporte PDF, Bajado 06.06.15





